ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(5—2):42—52
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.235.535 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_42

ВЛИЯНИЕ ПОРОДНЫХ ПРОСЛОЕВ НА ТЕХНОЛОГИЮ ОТРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Г. П. Берсенев[1], Д. Ю. Князев[1]

[1] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Аннотация: Шубаркольское месторождение каменного угля расположено в Карагандинской области Республики Казахстан. Низкая зольность добываемых на месторождении углей обуславливает повышенный спрос на рынке энергетического сырья среди населения. В связи с чем возрастает необходимость получения именно кускового угля для коммунально-бытовых нужд, доля добычи которого составляет лишь 10 % от общей массы добываемого угля. Сложноструктурная неоднородность угленосного массива с наличием множества породных прослоев различной мощности с разным углом падения и существующая необходимость повышения кусковатости угля обуславливают селективную отработку угольных блоков. В данной ситуации возникает потребность разработки параметров буровзрывных работ, позволяющих обеспечить проработку угольного массива и породных прослоев для эффективной экскавации, при этом сохранив необходимое содержание кускового угля. Работа по исследованию процессов буровзрывных работ в сложноструктурном горном массиве угольного разреза позволила выработать ряд подходов к обеспечению требуемой кусковатости за счёт своевременных переходов в выемочных блоках от одних параметров буровзрывных работ к другим. В данном случае технология добычи начала меняться в сторону селективной выемки. Учитывая истощение запасов во времени при добыче как угля, так и других твердых полезных ископаемых, можно предположить, что будущие технологии разработки будут развиваться в направлениях селективности и большей точности реализуемых решений.

Ключевые слова: сложноструктурное строение массива, взрывные работы, разрушение горных пород, физико-механические свойства горных пород, сотрясательное действие взрыва, камуфлетный заряд, породные прослои.

Благодарность: Исследования выполнены ИГД УрО РАН в рамках Государственного задания №075—00581—19—00, а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств.

Для цитирования: *Берсенев Г. П., Князев Д. Ю.* Влияние породных прослоев на технологию отработки сложноструктурных угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5—2. — С. 42—52. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_42.

Impact of dirt beds in mining structurally complex coal seams

G. P. Bersenev[1], D. Yu. Knyazev[1]

[1] Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

© Г. П. Берсенев, Д. Ю. Князев. 2021

Abstract: Shubarkol coal deposit is located in the Karaganda Region of the Republic of Kazakhstan. The low ash content of coals governs the increased demand for the power-generating source among the population. In this connection, it is necessary to produce chinley coal for municipal needs, while production of such coal is only 10 % of the overall coal produced thus far. The complex structural heterogeneity of the coal-bearing rock mass with the presence of many dirt beds of different thickness and dip angles, as well as the existing need to increase the lumpiness of coal for the municipal supply necessitates selective mining of coal blocks. In this situation, it is required to develop drilling and blasting patterns for selective extraction of coal and dirt beds at the preserved content of chinley coal. The studies into drilling and blasting in structurally complex rock mass of the coal mine enabled development of a few approaches to ensuring the required lumpiness of coal due to timely transition between different blasting patterns in excavation panels. The mining technology began to change towards selective extraction as a result. Given depletion of coal reserves over time in mining either coal or other solid minerals, it can be assumed that future technologies will be advanced in the direction of selectivity and greater accuracy of implemented solutions.

Key words: structurally complex rock mass, blasting operations, rock fracture, physical and mechanical properties of rocks, shattering effect, confined explosive charge, dirt beds.

Acknowledgements: The studies are implemented State Contract No. 075-00581-19-00 with the Institute of Mining, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, and with attraction of additional funds from economic contract.

For citation: Bersenev G. P., Knyazev D. Yu. Impact of dirt beds in mining structurally complex coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5—2):42—52. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_42.

Введение

Шубаркольское месторождение угля расположено в Карагандинской области Республики Казахстан. Ближайшими к месторождению населенными пунктами являются: г. Жезказган — 150 км, пос. Жайрем — 150 км, пос. Баршино — 120 км, г. Караганда — 350 км.

Западнее месторождения находится пересыхающая река Кызылжар, восточнее — безымянные водотоки, русла которых заполняются водой ливней в период снеготаяния и обильных дождей. Почвы района маломощные суглинисто-песчанистые и суглинисто-щебнистые, малоплодородные, в пониженных участках рельефа засолоняются.

Шубаркольское месторождение имеет линзовидную форму — мульды длиной и шириной до десятков километров. Угленосность, приурочена к юрским отложениям. Наибольшие углы падения угленосной толщи на выходах угольных горизонтов составляют от 10—25° до 35—50°. Внутренняя часть мульды характеризуется простым строением и пологими углами падения до 3—5°.

Промышленная угленосность месторождения приурочена к нижней части разреза юрских отложений и содержит три угольных горизонта: Верхний, Средний и Нижний. Наибольший интерес представляет Верхний горизонт, принятый для открытой разработки.

Верхний угольный массив является наиболее мощным и имеет сравнительно простое строение. По общему строению горизонт делится на два мощных пласта 2В и 1В. Пласт 2В распространен на 60 % площади месторождения, сложен 3—7 угольными пачками мощностью 0,2—15,0 м, разделенными породными прослоями

0,10 — 0,80 м. Рабочая мощность пласта составляет 15 — 22 м. Пласт 1В сложен 2 — 10 угольными пачками мощностью 0,15 — 8,3 м, разделенными прослоями мощностью 0,03 — 0,40 м. Рабочая мощность пласта составляет 4 — 9 м. Породные прослои в основном представлены аргиллитами, алевролитами, реже песчаниками и углистыми аргиллитами.

Средний угольный горизонт является наименее мощным на месторождении. Он представлен 3 — 7-метровой угольной залежью с изменяющимися мощностью и строением. Рабочая мощность составляет 3,7 — 4,1 м.

Нижний угольный горизонт представляет собой 25 — 40-метровую угольную залежь очень сложного строения. Слагающие горизонт пласты преимущественно тонкие, изменчивые по мощности и строению.

Особенностью разработки является то, что добывается небольшая часть угля, реализуемая населению для коммунально-бытовых нужд. Из верхней выветрелой части пласта 2В коммунально-бытовой уголь практически не добывается. Из нижней части пласта, где уголь имеет более высокие физико-механические характеристики, он добывается, и доля его составляет около 10 % от общей массы добываемого угля. Перспективой развития добычи считается увеличение доли угля, реализуемой населению, ввиду его высокого спроса.

Пласт 1В сложен 1 — 2 пачками угля в западной части месторождения и 2 — 5-ю — в восточной. В южном направлении происходит увеличение количества угольных пачек и наблюдается закономерное уменьшение рабочей мощности пласта. Пласт, отнесен к выдержанным. Пласт 1В подразделяется на 1В1 и 1В2.

Пласты 2В и 1В2 сложены блестящими и полублестящими литотипами угля. Полуматовые, матовые и матовые зольные угли имеют подчиненное значение.

Блестящие угли однородные с плоскораковистым изломом, иногда имеют столбчатую отдельность. Большинство угольных пластов имеют сложное строение. Разделяющие породные прослои представлены аргиллитами. В разрезе

Таблица 1

Исходные физико-механические параметры углей пластов 2В и 1В2

Initial physical and mechanical parameters of coal in seams 2B and 1B2

Наименование пород	Предел прочности, МПа		Естественная влажность, W, %	Плотность средняя, ρ_1, т/м³	Сцепление в монолите, С, МПа	Угол Внутреннего трения, φ°	Категория пород по трещиноватости	Класс по буримости	Класс по взрываемости	Показатель экскавации пород
	При сжатии	При растяжении								
Уголь пласта 2В	18,8	0,65	7,55	1,5	3,11	27	Средне- и крупноблочные	Легкобур.	Легковзрываемые	До 3
Уголь пласта 1В	17,0	0,71	7,81	1,5	3,07	27	Средне- и крупноблочные	Легкобур.	Легковзрываемые	До 3

угольных пластов 2В и 1В2 отмечаются единичные прослои горючих сланцев.

Физико-механические характеристики угля пластов 2В и 1В2 представлены в табл. 1.

Технологические вопросы и состояние буровзрывных работ

Угли Шубаркольского месторождения участков «Центральный» и «Западный» разрабатываются открытым способом. Объем добычи достигает 16 млн т угля в год. Согласно [1] неокисленные угли участков «Центральный» и «Западный» относятся к каменным, технологической марки Д (длиннопламенный), подгруппы ДВ (длиннопламенный витринитовый). Неокисленные угли для коммунально-бытовых нужд (КБН) применяются для слоевого сжигания в котельных установках объектов социального назначения (административных зданий, школ, больниц, воинских частей и др.), котельных установках промышленных предприятий и бытовых нужд населения (индивидуальные агрегаты бытового назначения).

Весьма низкая зольность данных углей (от 8 до 12 % в зависимости от разрабатываемого пласта) обуславливает повышенный спрос на рынке энергетического сырья среди населения [2]. В связи с чем возрастает необходимость получения именно кускового угля для КБН.

В отгружаемых углях для КБН фактическое содержание мелочи класса 0—6 мм находится в пределах 12,6—13,8 %.

Сложноструктурная неоднородность угленосного массива с наличием множества породных прослоев различной мощности и углом падения и существующая необходимость повышения кусковатости угля для КБН обуславливают селективную отработку угольных блоков [3—5]. В данной ситуации возникает необходимость разработки параметров БВР, позволяющих обеспечивать проработку угольного массива и породных прослоев для эффективной экскавации, при этом сохраняя необходимое содержание кускового угля.

В рамках договора о НИР между ИГД УрО РАН и АО «Шубарколь комир» выполнен аудит параметров и технологии ведения буровзрывных работ, разработана программа проведения экспериментальных взрывов на опытных блоках с вариацией различных параметров в зависимости от структурного строения угольных пластов.

При разработке программы проведения экспериментальных взрывов учитывались результаты исследований и разработки, приведенные в работах [6—13], внесшие значительный вклад в развитие теории и практики ведения буровзрывных работ на угольных разрезах.

Особенностью ведения буровзрывных работ на Центральном и Западном разрезах АО «Шубарколь комир» является производство массовых взрывов ВВ методом «сотрясательных» взрывов, с уменьшенными зарядами [14—17]. Камуфлетно-сотрясательный взрыв — взрыв зарядов ВВ без разрушения поверхностного слоя горных пород, применяемый для разупрочнения основного массива, с целью обеспечения эффективной экскавации. Применение указанной взрывной технологии обеспечивается весьма низким удельным расходом ВВ (от 0,01 до 0,08 кг/м^3).

При ведении взрывных работ применяются два типа ВВ. Для обводненных скважин используется патронированное эмульсионное взрывчатое вещество (ЭВВ) Fortel Plus 65 производства компании «Orica», для сухих — Гранулит Д-5, изготавливаемый в смесительно-

зарядных машинах производства компании «Нипигормаш». В качестве промежуточного детонатора используется патронированное ЭВВ Senatel Magnum производства компании «Orica».

Выявленная при аудите БВР нестабильность качества ВВ Гранулит Д5 привела к исключению данного типа ВВ при проведении экспериментальных взрывов ввиду получения заведомо некорректных результатов. Все экспериментальные взрывы по программе испытаний проводились с применением ЭВВ Fortel Plus.

Наибольшую сложность при разработке междупластьев вызывал переход от одних параметров к другим, а эти переходы в значительной мере определяют эффективность разработки породных прослоев. Подходы, разработанные ранее при систематизации факторов, влияющих на переходные процессы в БВР, позволили бы улучшить процесс проектирования взрывов и инновационную направленность внедряемых технических решений аналогично приемам, изложенным в работах ИГД УрО РАН по исследованию переходных процессов в горном деле [18].

Анализ данных

С учетом геологического строения массива угольного пласта, характеризуемого наличием породных прослоев от 0,1 до 0,8 м, и особенностями технологии отработки угля, технологическими службами АО «Шубарколь комир» принято решение вести отработку блока селективно — с раздельной разработкой угля и пропластков вмещающих пород. Перед проведением взрывов на экспериментальном блоке с целью корректировки предварительной программы выполнен ряд предварительных взрывов на смежных участках верхней пачки пласта 2В с различными параметрами БВР.

При проведении экспериментальных взрывов на блоке №2 установлено, что на изменение кусковатости угля влияет наличие породных прослоев и месторасположения заряда. На основании чего в рамках ОПИ предложены следующие параметры БВР, представленные в табл. 2.

Во всех скважинах экспериментального блока применено внутрискважинное замедление 500 мс.

Интерпретация данных изменения кусковатости угля при различных параметрах БВР произведена с применением фотограмметрии. Результаты в зависимости от фактора влияния представлены в табл. 3 и 4.

Для рассмотрения влияния наличия дополнительного прослоя при высоте уступа более 4 м экспериментальный взрыв проводился на блоке с высотой уступа 7,5 м. Два породных прослоя мощностью 0,25 и 0,2 м находились в основании взрываемого блока с прослойкой угля между ними 0,1 м. Дополнительный породный прослой мощностью 0,4 м размещен на глубине 4,5 м. Блок отрабатывался селективно: сначала верхняя угольная пачка мощностью 4,1 м, далее породный прослой и следующим этапом — нижняя угольная пачка блока мощностью около 2 м, что позволило произвести фиксацию кусковатости в верхней и нижней пачках участка экспериментального блока [19]. Результаты представлены в табл. 4.

Обсуждение результатов

На основании данных, представленных в табл. 3 и на диаграмме (рис. 1), можно сделать следующие выводы:

– при расположении заряда ВВ ниже прослоя при идентичном удельном расходе ВВ (0,02 кг/м^3), что и при расположении заряда в прослое, энергии взрыва недостаточно для встряхивания угольного массива,

Таблица 2

Параметры БВР для проведения экспериментальных взрывов на блоке №2

Blast pattern design for experimental blasting in block No. 2

№ комплекса параметров БВР	Сетка скважин, a × b, м	Глубина скважин, м	Удельный расход ВВ, кг/м³	Схема монтажа взрывной сети	Интервалы замедления, мс	Наличие породных прослоев	Примечание
1	4,5×4,5	4,5	0,015	Порядная вдоль кливажа	33 мс	Прослой 0,5 м на глубине 4,5 м	Пробурено до основания прослоя
2	4,5×4,5	5	0,015	Порядная вдоль кливажа	33 мс	Прослой 0,5 м на глубине 4,5 м	Перебур на 0,5 м ниже прослоя
3	4,5×4,5	4	0,015	Порядная вдоль кливажа	33 мс	Прослой 0,5 м на глубине 4,5 м	Недобур 0,5 м до прослоя

Таблица 3

Показатели кусковатости угля при отработке экспериментального блока с изменением расположения заряда

Coal fragmentation characteristics in experimental blasting block at changed blast pattern design

Особенность расположения заряда	№ комплекса параметров БВР	Класс крупности, мм						
		>300	150—300	50—150	25—50	6—25	0—6	Сумма
в прослое	1	5,4 %	18,4 %	22,2 %	17,6 %	14,2 %	22,2 %	100,0 %
ниже прослоя	2	3,3 %	15,8 %	21,8 %	17,7 %	17,2 %	24,2 %	100,0 %
выше прослоя	3	3,4 %	13,5 %	16,9 %	18,8 %	19,7 %	27,7 %	100,0 %

находящегося выше породного прослоя, вследствие чего наблюдается переизмельчение угля при его экскавации, также при этом наблюдается чрезмерное дробление угольного массива ниже прослоя в непосредственной близости от заряда;

– при расположении заряда ВВ выше породного прослоя зона интенсивного дробления находится непосредственно в разрабатываемом угольном массиве, что приводит к потере кусковатости и недостаточной проработке породного прослоя;

– оптимальное расположение заряда в породном прослое позволяет увеличить выход фракций угля более 50 мм до 8 % и в достаточной степени

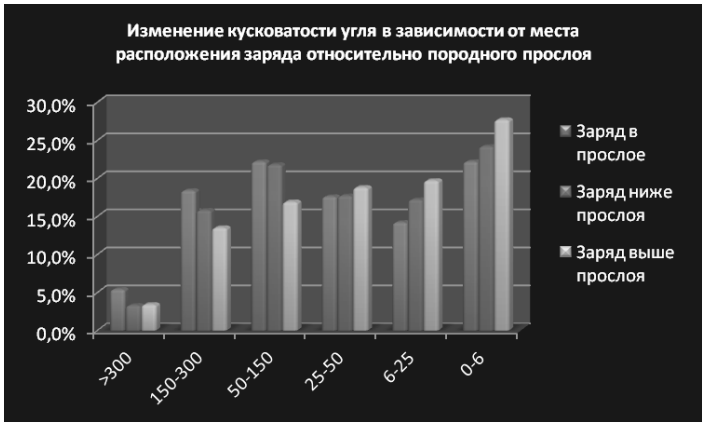

Рис. 1. Изменения кусковатости угля в зависимости от места расположения заряда
Fig. 1. Change in coal fragmentation versus charge location

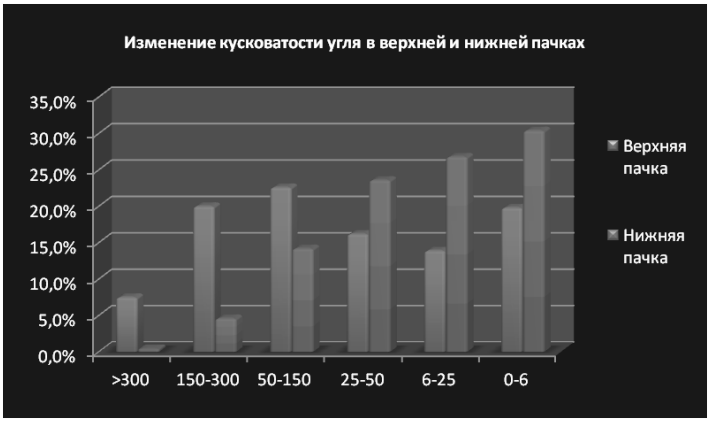

Рис. 2. Изменения кусковатости угля в верхней и нижней пачках угля при наличии дополнительного прослоя
Fig. 2. Change in coal fragmentation in the top and bottom coal bands with dirt parting

Таблица 4

Показатели кусковатости угля при отработке экспериментального блока с изменением фактора расположения заряда
Coal fragmentation characteristics in in experimental blasting block at different blast layout

Рассматриваемая пачка	№ комплекса параметров БВР	Класс крупности, мм						
		>300	150—300	50—150	25—50	6—25	0—6	Сумма
Верхняя пачка	4	7,5 %	20,0 %	22,6 %	16,2 %	13,9 %	19,8 %	100,0 %
Нижняя пачка		0,4 %	4,6 %	14,2 %	23,6 %	26,8 %	30,4 %	100,0 %

проработать более крепкий породный прослой для последующей экскавации.

На основании данных, представленных в табл. 4 и на графике (рис. 2) можно сделать следующие выводы:

– в верхней пачке отмечаются повышенные показатели кусковатости угля фракций более 50 мм;

– в верхней пачке показатель кусковатости угля с фракцией >300 мм составляет 7,5 %, с фракцией 150—300 м — 20 %, что является достаточно хорошим показателем для зоны интенсивного структурного ослабления и зоны структурного ослабления.

– повышенный удельный расход ВВ (0,105 кг/м^3) позволил эффективно проработать верхнюю пачку угля и породный прослой мощностью 0,4 м, что, в свою очередь, привело к чрезмерному дроблению и значительной потере кусковатости угля в нижней пачке.

Заключение

Работа по исследованию ведения буровзрывных работ в сложноструктурном горном массиве угольного разреза позволила выработать ряд подходов к обеспечению требуемой кусковатости за счёт своевременных переходов в выемочных блоках от одних параметров БВР к другим. В данном случае технология добычи начала меняться в сторону селективной выемки. Учитывая истощение запасов во времени при добыче, как угля, так и других твердых полезных ископаемых можно предположить, что будущие технологии разработки будут развиваться в направлениях селективности и большей точности реализуемых решений.

Направление дальнейших исследований

Развитие исследований представляется в разработке соответствующей методики проектирования технологических взрывов на разрезах с учётом структурных особенностей для обеспечения требуемой товарной кусковатости угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальным стандартом Республики Казахстан «Угли Шубаркольского месторождения. Ч. 1. Технические условия» СТ РК 1526—1-2016 (утв. приказом Председателя Комитета технического регулирования и метрологии Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 26.10.2016 № 270-од). — 56 с.
2. *Рыжков К. М.*, *Липатников С. Г.*, *Кудрявцев А. В.*, *Шарко К. С.* Необходимость и выбор способов обогащения энергетического угля марки «Д» в условиях ООО «Шахтоуправление «Майское» // Уголь. — 2018. — № 7 (1108). — С. 72—77. DOI: 10.18796/0041—5790—2018—7-72—76.
3. *Хоютанов Е. А.*, *Батугин С. А.*, *Гаврилов В. Л.* Резервы управления природными и технологическими составляющими зольности угля сложноструктурных месторождений // Вестник Забайкальского государственного университета. — 2017. — Т. 23. — № 8. — С. 83—90. DOI: 10.21209/2227—9245—2017—23—8-83—90.
4. *Таланин В. В.*, *Бехер В. Г.* Обоснование интенсивности отработки маломощных и сложноструктурных угольных пластов крутого падения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2019. — № 6. — С. 88—96. DOI: 10.25018/0236—1493—2019—06—0-88—96.
5. *Попов Д. В.* Методика управления качеством товарной продукции угольных разрезов с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля (на примере Бейского месторождения каменного угля) // Горный информационно-аналити-

ческий бюллетень (научно-технический журнал). — 2020. — № S28. — С. 3—21. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—9-28—3-21.

6. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. — М.: Недра, 1985. — 509 с.

7. *Репин Н. Я.* Подготовка и экскавация вскрышных пород угольных разрезов. — М. : Недра, 1978. — 256 с.

8. Jeong, H., Jeon, B., Choi, S., Jeon, S. Fracturing behavior around a blasthole in a brittle material under blasting loading. International Journal of Impact Engineering, 2020, Vol. 140. 103562. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2020.103562.

9. *Ольховатенко В. Е.* Инженерно-геологические условия разработки открытым способом Алардинского угольного месторождения Кузбасса и оценка устойчивости бортов карьера. — Томск : Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2015. — 88 с.

10. Guo, D., Lv, P., Zhao, J., Zhang, C. Research progress on permeability improvement mechanisms and technologies of coalbed deep-hole cumulative blasting. International Journal of Coal Science and Technology, 2020, Vol. 7, pp. 329—336. DOI: 10.1007/s40789—020—00320—5.

11. Afanasev, P., Pasynkov, A., Kurta, I. Optimal parameters for drilling explosions when developing coal deposits by open-pit method. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 164, 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401012.

12. *Садовский М. А.* Геофизика и физика взрыва: избранные труды / Отв. ред. В. В. Адушкин. — М. : Наука, 2004. — 440 с.

13. *Берсенёв Г. П.*, *Шеменёв В. Г.*, *Жариков С. Н.* Развитие науки и практики специальных взрывных работ на Урале // Горный журнал. — 2012. — № 1. — С. 25—28.

14. *Zharikov S. N.*, *Kutuev V. A.* Mining shovel energy efficiency and its relationship with the explosive fracture of rocks. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 262 012085. DOI: 10.1088/1755—1315/262/1/012085

15. *Шер Е. Н.*, *Черников А. Г.* Расчет параметров радиальной системы трещин, образующейся при взрыве удлиненного заряда в хрупких горных породах // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2015. — Т. 2. — № 2. — С. 299—303.

16. Yang, L., Wang, Q., Xu, L., Yang, R., Chao, Y. J. Fracture path of cracks emigrating from two circular holes under blasting load. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2020, Vol. 108, 102559. DOI: 10.1016/j.tafmec.2020.102559.

17. Jeong, H., Jeon, B., Choi, S., Jeon, S. Fracturing behavior around a blasthole in a brittle material under blasting loading. International Journal of Impact Engineering, 2020, Vol. 140, 103562. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2020.103562.

18. *Яковлев В. Л.* Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. — Екатеринбург : УрО РАН, 2019. — 284 с.

19. *Хоютанов Е. А.*, *Гаврилов В. Л.* Повышение полноты извлечения запасов сложноструктурных пластов с учетом зольности угля в приконтактных зонах // Вестник Забайкальского государственного университета. — 2016. — Т. 22. — № 10. — С. 20—29. DOI: 10.21209/2227—9245—2016—22—10—20—29. ГИАБ

REFERENCES

1. *Nacional'nym standartom Respubliki Kazahstan «Ugli Shubarkol'skogo mestorozhdeniya* [National Standard of the Republic of Kazakhstan «Coals of the Shubarkol deposit]. Ch. 1. Tekhnicheskie usloviya» ST RK 1526—1-2016 (utv. prikazom Predsedatelya Komiteta tekhnicheskogo regulirovaniya i metrologii Ministerstva po investiciyam i razvitiyu Respubliki Kazahstan ot 26.10.2016 no. 270-od). 56 p. [In Russ]

2. Ryzhkov K. M., Lipatnikov S. G., Kudryavcev A. V., Sharko K. S. The necessity and choice of methods for enriching energy coal of the «D» brand in the conditions of

LLC «Shakhtoupravlenie» Mayskoe. *Ugol'*. 2018. no. 7 (1108). pp. 72 – 77. DOI: 10.18796/0041 – 5790 – 2018 – 7-72 – 76. [In Russ]

3. Hoyutanov E. A., Batugin S. A., Gavrilov V. L. Reserves for managing natural and technological components of coal ash content in complex-structured deposits. *Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. T. 23. no. 8. pp. 83 – 90. DOI: 10.21209/2227 – 9245 – 2017 – 23 – 8-83 – 90. [In Russ]

4. Talanin V. V., Bekher V. G.Justification of the intensity of mining of low-power and complex-structured coal seams of steep fall. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. no. 6. pp. 88 – 96. DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2019 – 06 – 0-88 – 96. [In Russ]

5. Popov D. V. Methodology for managing the quality of commercial products of coal mines with non-sustained characteristics of the occurrence and quality of coal (on the example of the Bey coal deposit). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. S28. pp. 3 – 21. DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2020 – 9-28 – 3-21. [In Russ]

6. Rzhevskij V. V. *Otkrytye gornye raboty* [Open mining operations]. Moscow: Nedra, 1985. 509 p. [In Russ]

7. Repin N. Ya. *Podgotovka i ekskavaciya vskryshnyh porod ugol'nyh razrezov* [Preparation and excavation of overburden rocks of coal mines]. Moscow: Nedra, 1978. 256 p. [In Russ]

8. Jeong, H., Jeon, B., Choi, S., Jeon, S. Fracturing behavior around a blasthole in a brittle material under blasting loading. *International Journal of Impact Engineering*, 2020, Vol. 140. 103562. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2020.103562.

9. Ol'hovatenko V. E. *Inzhenerno-geologicheskie usloviya razrabotki otkrytym sposobom Alardinskogo ugol'nogo mestorozhdeniya Kuzbassa i ocenka ustojchivosti bortov kar'era* [Engineering-geological conditions of open-pit mining of the Alardinsky coal deposit of Kuzbass and assessment of the stability of the quarry sides]. Tomsk : Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2015. 88 p. [In Russ]

10. Guo, D., Lv, P., Zhao, J., Zhang, C. Research progress on permeability improvement mechanisms and technologies of coalbed deep-hole cumulative blasting. International Journal of Coal Science and Technology, 2020, Vol. 7, pp. 329 – 336. DOI: 10.1007/s40789 – 020 – 00320 – 5.

11. Afanasev, P., Pasynkov, A., Kurta, I. Optimal parameters for drilling explosions when developing coal deposits by open-pit method. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 164, 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401012.

12. Sadovskij M. A. *Geofizika i fizika vzryva: izbrannye trudy* [Geophysics and physics of explosion: selected works]. Otv. red. V. V. Adushkin. Moscow: Nauka, 2004. 440 p. [In Russ]

13. Bersenyov G. P., Shemenyov V. G., Zharikov S. N. Development of science and practice of special blasting operations in the Urals. *Gornyj zhurnal*. 2012. no. 1. pp. 25 – 28. [In Russ]

14. Zharikov S. N., Kutuev V. A. Mining shovel energy efficiency and its relationship with the explosive fracture of rocks. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 262 012085. DOI: 10.1088/1755 – 1315/262/1/012085.

15. Sher E. N., Chernikov A. G. Calculation of the parameters of the radial system of cracks formed during the explosion of an elongated charge in brittle rocks. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk*. 2015. T. 2. no. 2. pp. 299 – 303. [In Russ]

16. Yang, L., Wang, Q., Xu, L., Yang, R., Chao, Y. J. Fracture path of cracks emigrating from two circular holes under blasting load. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2020, Vol. 108, 102559. DOI: 10.1016/j.tafmec.2020.102559.

17. Jeong, H., Jeon, B., Choi, S., Jeon, S. Fracturing behavior around a blasthole in a brittle material under blasting loading. *International Journal of Impact Engineering,* 2020, Vol. 140, 103562. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2020.103562.

18. Yakovlev V. L. *Issledovanie perekhodnyh processov novoe napravlenie v razvitii metodologii kompleksnogo osvoeniya georesursov* [Research of transition processes — a new direction in the development of the methodology of integrated development of georesources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2019. 284 p. [In Russ]

19. Hoyutanov E. A., Gavrilov V. L. Increasing the completeness of extraction of reserves of complex-structured layers, taking into account the ash content of coal in the contact zones. *Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta.* 2016. T. 22. no. 10. pp. 20—29. DOI: 10.21209/2227—9245—2016—22—10—20—29. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Берсенев Геннадий Порфирьевич[1] — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: victoria508@mail.ru;
Князев Денис Юрьевич[1] — младший научный сотрудник, e-mail: knyazev@igduran.ru;
[1] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bersenev G. P.[1], Cand. Sci. (Eng.), senior researcher, e-mail: victoria508@mail.ru;
Knyazev D.Yu.[1], Junior researcher, e-mail: knyazev@igduran.ru;
[1] Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 13.01.2021; получена после рецензии 18.03.2021; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 13.01.2021; received after the review 18.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.