

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПРЕДПРИЯТИИ «УРГАЛУГОЛЬ»

А. А. Галимьянов¹, А. А. Соболев¹

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Хабаровск, Россия

Аннотация: Произведены анализ и оценка изменения основных параметров буровзрывных работ и затрат на их проведение в зависимости от возрастания глубины разработки на угольных разрезах «Буреинский» и «Правобережный» предприятия «Ургалуголь». Установлено, что с понижением горных работ и усложнением горно-геологических, а также организационных условий разработки, с изменением свойств угольных пластов и вмещающих пород изменяются параметры БВР, значительно возрастают операционные затраты на горно-подготовительные работы и производственные затраты на БВР. В связи с этим на предприятии возникают трудности при обосновании бюджетов вскрышных и добычных работ вследствие их увеличения по мере отработки уступов. В целях обеспечения корректности обоснования фактических параметров БВР и затрат на их осуществление предлагается введение показателя средневзвешенного коэффициента отработки уступа БВР, рассчитанного из объема взорванной горной массы по каждому из взрывааемых уступов определённой высоты. Выявлено, что соответствующий проведенному массовому взрыву средневзвешенный коэффициент отработки уступа имеет корреляционную зависимость с удельными операционными затратами на подготовку горной массы к выемке, а также с выходом горной массы с одного погонного метра взрывной скважины. Использование данного показателя позволяет обосновать расхождение проектных и фактических параметров БВР и бюджетов на их проведение.

Ключевые слова: уголь, открытые горные работы, буровзрывные работы, глубина разработки, средневзвешенный коэффициент отработки уступа, свойства горных пород, параметры буровзрывных работ, производственные затраты.

Для цитирования: Галимьянов А. А., Соболев А. А. Оценка влияния глубины разработки угольных месторождений на основные показатели буровзрывных работ на предприятии «Ургалуголь» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12–1. – С. 69–75. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_69.

Effect of coal mining depth on drilling-and-blasting performance at Uralugol

A. A. Galimyanov¹, A. A. Sobolev¹

¹ Mining Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract: : It is proposed to determine the weighted average of a drilling-and-blasting bench as an arithmetic average of a bench of a certain height, including the volume of broken rock mass on each addend bench for which this average number is calculated. The found weighted average is correlated with the specific operating cost of rock preparation for blasting and with the yield of rock mass per one running meter, and is meant to facilitate justification of rational drilling-and-blasting parameters. The value of the weighted average grows with increasing depths of mining, as a rule. In calculation of the weighted average of a bench, a pit wall is conditionally depth-ward divided into the same height benches, and each bench is given an ordinal number starting from ground surface. An extraction block is attached to a bench number based on the elevation of the bottoms of the longest boreholes in the block. It follows from mining practice that the target position of mining operations by the end of a reporting period seldom coincides with the actual position. Such situation is often connected with organizational conditions. The drilling-and-blasting parameters and operating costs of first works change accordingly and mainly increase as mining depth grows. Incidentally, justification of stripping and actual mining costs becomes complicated. To help mining engineers and to facilitate correct justification of drilling-and-blasting parameters and cost, the weighted average of drilling-and-blasting bench is proposed to be used at deposits with linear dependence of properties of rocks on mining depth.

Key words: weighted average of drilling-and-blasting bench, specific operating cost, mining depth, drilling-and-blasting parameters, physical and mechanical properties of rocks, rock mass yield per running meter.

For citation: Galimyanov A. A., Sobolev A. A. Effect of coal mining depth on drilling-and-blasting performance at Uralugol. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):69–75. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_69.

Введение

В естественном залегании горные породы испытывают действие сил, вызванных различными физическими, физико-химическими и геологическими процессами. По мере возрастания глубины залегания угольных пластов растет горное давление вышележащих породных слоев, изменяется физика циркуляции водных растворов и энергии тектонических процессов [1, 2]. Учеными зафиксировано изменение типа цементирования с возрастанием глубины залегания горных пород на примере песчаников лежащего бока угольных пластов [3]. Вследствие геостатического давления происходит смыкание трещин по отдельным элементарным блокам, уплотнение горных пород, уменьшение пористости пород, растет напряженное состояние горного массива, что существенно влияет на эффективность разрушения массива горных пород, которая в значитель-

ной мере зависит от прочности пород на сдвиг и сжатие, а также их степени трещиноватости, пористости и плотности, данная зависимость доказывается в работах [4–6]. Физико-механические свойства горных пород являются одним из основных факторов, оказывающих влияние на параметры подготовки горной массы к выемке [7–9], их изменение приводит к повышению сопротивления пород взрыву с увеличением глубины ведения горных работ и, как следствие, снижается качество дробления, увеличивается удельный расход ВВ для равномерного разрушения массива. В этой связи на угольных разрезах «Буреинский» и «Правобережный» предприятия «Ургалуголь» компании «СУЭК» зафиксировано значительное расхождение плановых и фактических параметров буровзрывных работ с увеличением глубины ведения горных работ, а также затрат на их осуществление.

Методы исследований

Обобщенный опыт работы предприятия «Ургалуголь» показывает, что с возрастанием глубины разработки усложняются условия производства горных работ: увеличиваются объемы вскрыши, повышается обводненность пород, сокращается ширина рабочих площадок и уступов.

С углублением разреза повышается крепость пород, аналогично увеличивается блочность массива [10]. Вследствие данного фактора зафиксировано снижение производительности буровых установок по мере углубления карьера и повышение уровня сопротивляемости пород взрыву.

На нижних уступах заметно отличается влияние взрывных волн на массив от их воздействия и распространения относительно верхних горизонтов [11]. Поэтому при расчетах параметров буровзрывных работ, в т.ч. удельного расхода ВВ, необходимо учитывать изменение свойств горных пород, в частности предела прочности пород на растяжение и блочность массива, что в настоящее время на большинстве угольных разрезов пока не выполняется, а показатели свойств массива принимают усредненными для всего разреза, его горизонта или участка [12].

Следует отметить, что учет комплексного количественного влияния всех природных и техногенных факторов на подготовку горной массы к выемке представляет собой непростую научно-производственную задачу. Большая часть из этих факторов имеет взаимосвязанный характер, что усложняет оценку их влияния на обоснование рациональных параметров буровзрывных работ [13].

В настоящее время в большинстве принятых на угольных предприятиях нормах проектирования буровзрывных работ не учитывается комплексное

влияние изменения физико-механических характеристик массива горных пород с глубиной разработки на параметры БВР [14]. В связи с этим важную роль играет проведение экспериментов по определению рациональных методов разупрочнения массива буровзрывным способом и их совершенствование.

Планируемые показатели БВР могут расходиться с фактическими не только по техническим причинам (параметры БВР, свойства массива), но и организационным (отклонение годового плана развития горных работ от операционного как по глубине, так и по ширине, длине разработки горизонта) [15], что негативно отражается на финансово-экономических показателях работы предприятия [16]. Для обеспечения достижения наиболее рациональных показателей отбойки и возможности их совершенствования важно объединить все влияющие факторы в систему, предопределяющую параметры БВР, использование которой позволит осуществлять качественную и количественную технико-финансово-экономическую оценку процесса подготовки горной массы к выемке.

В предлагаемой методике каждый взрывной блок привязывается к номеру уступа и применяется относительный средневзвешенный коэффициент отработки уступа БВР ($C_{\text{ср.уст.}}$) за отчетный период в целях обоснования фактических параметров буровзрывных работ на отчетный период относительно плановых и совершенствования планирования БВР в будущем. Коэффициент определяется как среднее арифметическое значение номера уступа определенной высоты, учитывающий объем взорванной горной массы каждого из слагаемых уступов, для которых рассчитывается это среднее значение.

Формула для расчета относительного средневзвешенного коэффициента отработки уступа выглядит как:

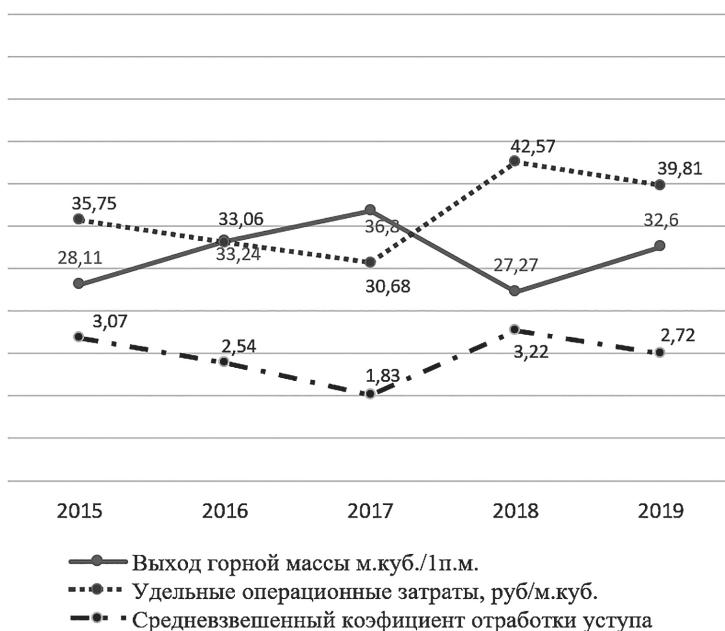


Рис. 1. График зависимости параметров БВР от средневзвешенного коэффициента отработки номера уступа на примере разрезов АО «Ургалуголь»

Fig. 1. Graph of the dependence of the BVR parameters on the weighted average coefficient of working off the ledge number on the example of sections of JSC «Urgalugol»

Таблица 1

Исходные данные и расчет средневзвешенного коэффициента отработки уступа на угольных разрезах «Буреинский» и «Правобережный»

Initial data and calculation of the weighted average coefficient of working off the ledge at the Bureinsky and Pravoberezhny coal mines

№ уступа	Объем взорванной горной массы, тыс. м куб.				
	2015	2016	2017	2018	2019
1	3736	6444,4	8267,699	5164,161	4290,413
2	1664	1308,17	8178,291	5114,603	4529,458
3	851,8	1594,22	4606,203	3439,921	5165,36
4	1792,5	3178,74	50,807	4013,881	2967,752
5	1778,3	1420,77	—	4802,397	615,883
6	1508,1	490,7	—	2409,037	1233,134
Средневзвешенный коэффициент отработки уступа	3,07	2,54	1,83	3,22	2,72

$$C_{\text{ср.уст.}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\text{уст}} \times V_{\text{ВГМ}}}{\sum_{i=1}^n V_{\text{ВГМ}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{уст}}$ – номер уступа считая от дневной поверхности – 1, 2, 3 и т.д.; $V_{\text{ВГМ}}$ – объем взорванной горной массы (ВГМ) по уступу $N_{\text{уст}}$ за расчетный период времени.

Расчет средневзвешенного коэффициента отработки уступа высотой 10 м в условиях предприятия «Ургалуголь» за 2015 – 2019 гг. представлен в табл. 1.

Результаты исследований

По итогам исследований на угольных разрезах «Буреинский» и «Правобережный» предприятия АО «Ургалуголь» за период 2015 – 2019 гг. зафиксирована корреляционная зависимость удельных операционных затрат и выхода взорванной горной массы (ВГМ) с 1 п. м. от относительного средневзвешенного коэффициента отработки уступа БВР (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что при отработке месторождений угля открытым способом с увеличением средневзвешенного коэффициента отработки уступа за отчетный период (в данном случае принимался 1 календарный год) прямо пропорционально растут удельные операционные затраты и снижается выход взорванной горной массы с одного погонного метра взрывной скважины.

Выводы

Подготовка горной массы к выемке в контексте процесса разрушения горных пород зависит от большого количества факторов, связанных как со свойствами самой разрушаемой среды, так и со свойствами взрывчатых материалов и параметров бурения. Усложнение горно-геологических и организа-

ционных условий разработки угольных месторождений, связанных с углублением горных работ, предопределяет необходимость комплексного учета всех влияющих на процесс разрушения горных пород факторов для обоснования рациональных параметров при проектировании и оценке основных технико-экономических показателей, в том числе и изыскания новых резервов для повышения эффективности.

На месторождениях осадочного происхождения, где ярко выражена зависимость физико-механических свойств горных пород от возрастания глубины разработки, в качестве инструмента для проведения сравнительного технико-экономического анализа рекомендуется применять относительный средневзвешенный коэффициент отработки уступа БВР.

Внедрение и использование данного показателя на предприятии «Ургалуголь» позволило вести более точный учет и анализ эффективности всего процесса рыхления горной массы, в частности: работы операторов буровых станков; учет расходов ВВ и средств инициирования; обоснования расхождений в основных проектных и фактических показателях БВР, таких как удельные операционные затраты на рыхление 1 м³, выход взорванной горной массы м³ с 1 п. м. скважины и др.; расходов в целом на проведение БВР по уступам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang M. et al. Evolution and effect of the stress concentration and rock failure in the deep multi-seam coal mining // Environmental Earth Sciences. – 2014. – Т. 72. – № 3. – С. 629 – 643.
2. Azarfar B. et al. Stability analysis of rock structure in large slopes and open-pit mine: numerical and experimental fault modeling // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2019. – Т. 52. – №. 12. – С. 4889 – 4905.
3. Лысаков Б. А., Зубарев Ю. П. Пример влияния глубины залегания на петрографические и механические свойства песчаников // Известия АН СССР вузов. Геология и разведка. – 1968. № 1. – С. 18 – 22.

4. Авчян Г. М., Матвеевко А. А., Стефанкевич З. Б. Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях. — М.: Недра, 1979. — 224 с.
5. Брюзгина Н. И., Туезова Н. А. О законах изменения пористости и плотности горных пород с глубиной их залегания для отложений Западно-Сибирской низменности // Труды СНИИГГМС: сб. науч. ст. — Новосибирск, 1967. Вып. 62. — С. 134 — 140.
6. Haldar S. K. Introduction to Mineralogy and Petrology (Second Edition) 7 August 2020, Pages 187 — 268.
7. Ebrahim F. Salmi, Ewan J. Selles A review of the methods to incorporate the geological and geotechnical characteristics of rock masses in blastability assessments for selective blast design // Engineering Geology 15 December 2020.
8. Галимьянов А. А. Повышение эффективности взрывного рыхления мерзлых горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — № S1—1. — С. 433—438.
9. Секисов Г. В., Соболев А. А. Рациональный способ разработки маломощных крутопадающих рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2012. — № 11. — С. 38—45.
10. Mohammad Babaei Khorzoughi, Robert Hall. Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques // International Journal of Mining Science and Technology, 4 January 2018.
11. Попов В. Н., Сильченко О. Б., Парамонова М. С. Об изменении физико-механических свойств горных пород с глубиной залегания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2011. — № 5. — С. 108—117.
12. Abbaspour H. et al. Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic uncertainties by system dynamic modelling // International Journal of Mining Science and Technology. — 2018. — Т. 28. — №. 6. — С. 839—848.
13. Викторов С. Д., Гончаров С. А., Иофис М. А., Закалинский В. М. Механика сдвига и разрушения горных пород // ИПКОН: сб. науч. ст. — М.: РАН, 2019. — 360 с.
14. Ozdemir B., Kumral M. A system-wide approach to minimize the operational cost of bench production in open-cast mining operations // International Journal of Coal Science & Technology. — 2019. — Т. 6. — №. 1. — С. 84—94.
15. Добровольский А. И., Галимьянов А. А., Шевкун Е. Б., Лещинский А. В. Совместная разработка сближенных пологих каменноугольных пластов в разнопрочных и мерзлых породах // Уголь. — 2015. — № 12. — С. 34—38. DOI 10.18796/0041—5790—2015—12—34—38.
16. Çelebi N. An equipment selection and cost analysis system for openpit coal mines // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. — 1998. — Т. 12. — №. 4. — С. 181—187. **ТАБ**

REFERENCES

1. Zhang M. et al. Evolution and effect of the stress concentration and rock failure in the deep multi-seam coal mining. *Environmental Earth Sciences*. 2014. Т. 72. no. 3. pp. 629—643.
2. Azarfar B. et al. Stability analysis of rock structure in large slopes and open-pit mine: numerical and experimental fault modeling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019. Т. 52. no. 12. pp. 4889—4905.
3. Lysakov B. A., Zubarev YU. P. An example of the influence of the depth of occurrence on the petrographic and mechanical properties of sandstones. *Izvestiya AN SSSR vuzov. Geologiya i razvedka*. 1968. no. 1. pp. 18—22. [In Russ]
4. Avchyan G. M., Matveenko A. A., Stefankevich Z. B. *Petrofizika osadochnykh porod v glubinykh usloviyakh* [Petrophysics of sedimentary rocks in deep conditions]. Moscow: Nedra, 1979. 224 p. [In Russ]
5. Bryuzgina N. I., Tuezova N. A. *O zakonah izmeneniya poristosti i plotnosti gornykh porod s glubinoj ih zaleganiya dlya otlozhenij Zapadno-Sibirskoj nizmennosti* [On the laws

of changes in porosity and density of rocks with the depth of their occurrence for deposits of the West Siberian lowland]. Trudy SNIIGGiMS: sb. nauch. st. Novosibirsk, 1967. Vyp. 62. pp. 134–140. [In Russ]

6. Haldar S. K. Introduction to Mineralogy and Petrology (Second Edition) 7 August 2020, pp. 187–268.

7. Ebrahim F. Salmi, Ewan J. Selles A review of the methods to incorporate the geological and geotechnical characteristics of rock masses in blastability assessments for selective blast design. Engineering Geology. 15 December 2020.

8. Galim'yanov A. A. Improving the efficiency of explosive loosening of frozen rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no. S1–1. pp. 433–438. [In Russ]

9. Sekisov G. V., Sobolev A. A. Rational method of development of low-power steep-falling ore deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012. no. 11. pp. 38–45. [In Russ]

10. Mohammad Babaei Khorzoughi, Robert Hall, Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*, 4 January 2018.

11. Popov V. N., Sil'chenko O. B., Paramonova M. S. On the change of physical and mechanical properties of rocks with depth of occurrence. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011. no. 5. pp. 108–117. [In Russ]

12. Abbaspour H. et al. Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic uncertainties by system dynamic modelling. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. T. 28. no. 6. pp. 839–848.

13. Viktorov S. D., Goncharov S. A., Iofis M. A., Zakalinskij V. M. *Mekhanika sdvizeniya i razrusheniya gornyh porod* [Mechanics of displacement and destruction of rocks]. IPKON: sb. nauch. st. Moscow: RAN, 2019. 360 p. [In Russ]

14. Ozdemir B., Kumral M. A system-wide approach to minimize the operational cost of bench production in open-cast mining operations. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2019. T. 6. no. 1. pp. 84–94.

15. Dobrovol'skij A. I., Galim'yanov A. A., Shevkun E. B., Leshchinskij A. V. Joint development of converging shallow coal seams in multi-strength and frozen rocks. *Ugol'*. 2015. no. 12. pp. 34–38. DOI 10.18796/0041-5790-2015-12-34-38. [In Russ]

16. Çelebi N. An equipment selection and cost analysis system for openpit coal mines. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. 1998. Vol. 12. no. 4. pp. 181–187.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галимьянов А. А.¹ – канд. техн. наук, ст. научный сотрудник лаборатории геотехнологии и горной теплофизики, azot-1977@mail.ru;

Соболев А. А.¹ – канд. техн. наук, начальник международного отдела, sobolev@khfrc.ru;

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук. 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Galimyanov A. A.¹, Cand. Sci. (Eng.), senior researcher at the Laboratory of Geotechnology and Mining Thermophysics, azot-1977@mail.ru

Sobolev A. A.¹, Cand. Sci. (Eng.), head of the international department, sobolev@khfrc.ru;

¹ Mining Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 51 Turgenev str., Khabarovsk, 680000, Russia.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 03.11.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 03.11.2021; accepted for printing 10.11.2021.

