

# Анализ изменения технико-экономических показателей буровзрывных работ в зависимости от возрастания глубины разработки угольных месторождений Дальнего Востока

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-2-22-25>

## СОБОЛЕВ А.А.

Канд. техн. наук,  
ведущий научный сотрудник  
Института горного дела ХФИЦ ДВО РАН,  
680000, Хабаровск, Россия,  
e-mail: sobolev@khfrc.ru

## ГАЛИМЬЯНОВ А.А.

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
Института горного дела ХФИЦ ДВО РАН,  
680000, Хабаровск, Россия,  
e-mail: azot-1977@mail.ru

Выполнена оценка влияния глубины разработки угольных разрезов на изменение основных параметров буровзрывных работ и затрат на их проведение. В условиях работы предприятия «Ургалуголь» на разрезах «Буреинский» и «Правобережный» установлено, что с понижением горных работ изменяются свойства угольных пластов и вмещающих пород, существенно усложняются горно-геологические и организационные условия разработки. Данные изменения существенно влияют на фактические параметры БВР, что в итоге приводит к увеличению производственных и операционных затрат. В этой связи происходят значительные расхождения в бюджетах на проведение вскрышных и добычных работ вследствие их увеличения по мере отработки уступов. Для расчета, корректировки и обоснования основных производственных параметров, таких как удельные операционные затраты и выход взорванной горной массы с одного метра взрывной скважины, предлагается использовать показатель средневзвешенного номера уступа БВР, который рассчитывается из объема взорванной горной массы на каждом из уступов по мере развития горных работ. Установлено, что соответствующий средневзвешенный номер уступа за определенный исследуемый вре-

менной интервал имеет прямую связь с удельными операционными затратами на производство процесса подготовки горной массы к выемке, а также с выходом горной массы с одного метра.

Внедрение и использование данного показателя значительно упрощают проведение расчета и анализа основных проектных и фактических инженерных решений, делают удобным обоснование соответствующих рациональных параметров, позволяют прогнозировать изменения и расхождения в экономических показателях процесса буровзрывной подготовки горной массы к выемке.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, угольный разрез, буровзрывные работы, глубина разработки, средневзвешенный номер уступа, горные породы, добыча, основные параметры, производственные затраты.

**Для цитирования:** Соболев А.А., Галимьянов А.А. Анализ изменения технико-экономических показателей буровзрывных работ в зависимости от возрастания глубины разработки угольных месторождений Дальнего Востока // Уголь. 2022. № 2. С. 22-25. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-22-25.

## ВВЕДЕНИЕ

Обобщенный опыт работы предприятия «Ургалуголь» компании «СУЭК» показывает, что с возрастанием глубины разработки усложняются условия производства горных работ: увеличиваются объемы вскрыши, повышается обводненность пород, сокращается ширина рабочих площадок и уступов. Ввиду изменения физико-механических свойств горных пород по мере углубления на угольных разрезах «Буреинский» и «Правобережный» происходят снижение производительности буровых установок, повышение уровня сопротивляемости пород взрыву, снижается качество дробления, увеличивается удельный расход ВВ для поддержания требуемого равномерного разрушения горных пород при проведении массовых взры-

вов. В этой связи зафиксировано значительное расхождение плановых и фактических показателей буровзрывных работ, а также затрат на их осуществление с увеличением глубины отработки запасов.

### ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТАНИЯ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ

По мере возрастания глубины залегания угольных пластов растет горное давление вышележащих породных слоев за счет изменения энергии тектонических процессов [1, 2]. Вследствие увеличения геостатического давления и роста напряженного состояния горного массива происходят смыкание трещин по отдельным элементарным блокам и уплотнение горных пород [3, 4], уменьшение пористости пород, увеличивается блочность массива [5], зафиксировано изменение типа цементирования с возрастанием глубины залегания горных пород [6] на примере песчаников лежащего бока угольных пластов. Аналогично изменениям в структуре массива изменяются свойства пород в направлении повышения их крепости, что существенно влияет на эффективность их разрушения [7, 8, 9]. Прочность пород на сдвиг и сжатие, степень их трещиноватости, пористости и плотности являются одними из ключевых факторов, оказывающих влияние на параметры подготовки горной массы к выемке, и в значительной мере определяют эффективность и качество осуществления процесса взрывных работ [10, 11] и производительность всех последующих операций по разрушению горных пород. На нижних уступах заметно отличается влияние взрывных волн на массив от их воздействия и распространения относительно верхних горизонтов [12]. Поэтому при расчетах параметров буровзрывных работ, в том числе удельного расхода ВВ, необходимо учитывать изменение свойств горных пород и, в частности, предела прочности пород на растяжение и блочность массива, что в настоящее время на большинстве угольных разрезов пока не выполняется [13], а показатели свойств массива принимают усредненными для всего разреза, его горизонта или участка.

Необходимо отметить, что комплексный учет количественного влияния всех природных и организационных факторов на подготовку горной массы к выемке представляет собой сложную научно-производственную задачу, так как большая их часть имеет взаимосвязанный характер, что усложняет производство объективной оценки влияния данных факторов на обоснование рациональных параметров производственных процессов [14].

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 [15].

В связи с этим важную роль приобретают экспериментальное определение рациональных методов разупрочнения массива буровзрывным способом и их совершенствование на базе полученных результатов.

Планируемые показатели БВР могут расходиться с фактическими не только по техническим причинам (параме-

тры БВР, свойства массива), но и по организационным (отклонение годового плана развития горных работ от операционного как по глубине, так и по ширине и длине разработки горизонта) [15], что негативно отражается на финансово-экономических показателях работы предприятия [16]. На сегодняшний день для достижения наиболее рациональных показателей отбойки и возможности их совершенствования необходимо объединить все влияющие факторы в систему, определяющую параметры БВР, использование которой позволит осуществлять качественную и количественную технико-финансово-экономическую оценку процесса подготовки горной массы к выемке. Решить данную производственную проблему обоснования себестоимости вскрышных и добычных работ, с учетом большинства основных влияющих на процесс БВР факторов, возможно методом внедрения и использования в инженерно-экономических расчетах **относительного средневзвешенного номера уступа БВР**.

В предлагаемой методике каждый взрывной блок предлагается привязывать к номеру уступа в целях обоснования фактических параметров буровзрывных работ на отчетный период относительно плановых. Для совершенствования планирования БВР на будущие периоды предлагается применять относительный средневзвешенный номер уступа БВР ( $C_{\text{ср.уст.}}$ ) за отчетный период, определяемый 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 номера уступа выглядит как:

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

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 номера уступа в условиях предприятия «Ургалуголь» за 2015-2019 гг. представлен в *таблице*.

По итогам исследований на угольных разрезах «Буринский» и «Правобережный» (предприятия АО «Ургалуголь») за период 2015-2019 гг. зафиксирована корреляционная зависимость удельных операционных затрат и выхода взорванной горной массы (ВГМ) с 1 м от относительного средневзвешенного номера уступа БВР (*см. рисунок*).

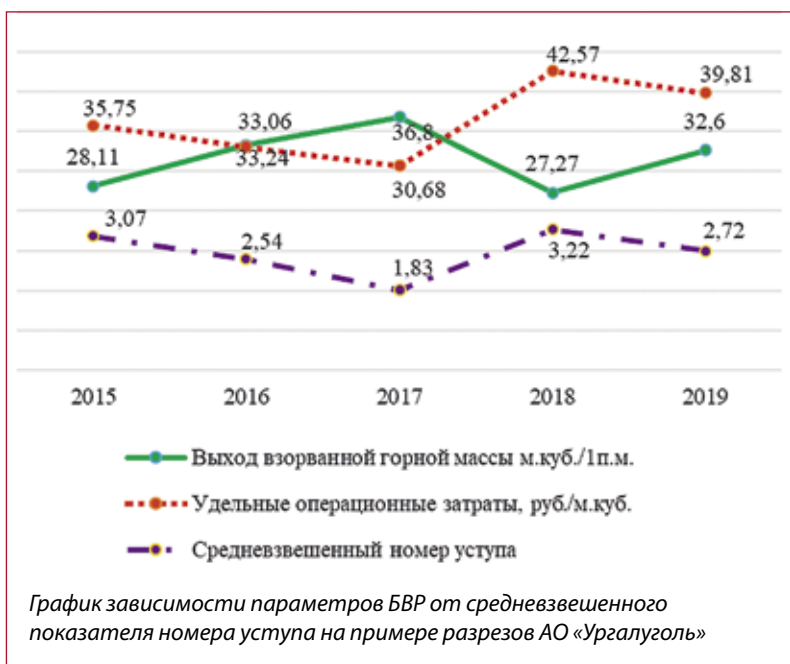
Из *рисунка* следует, что при отработке месторождений угля открытым способом с увеличением средневзвешенного показателя номера уступа за отчетный период (в данном случае принимался 1 календарный год) прямо пропорционально растут удельные операционные затраты и снижается выход взорванной горной массы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

### ВЫВОДЫ

Подготовка горной массы к выемке в контексте процесса разрушения горных пород зависит от большого количества внешних факторов, связанных как со свойствами самой разрушаемой среды, взрывчатых материалов, параме-

**Исходные данные и расчет средневзвешенного номера уступа на угольных разрезах «Буреинский» и «Правобережный»**

Номер уступа	Объем взорванной горной массы, тыс. куб. м				
	2015	2016	2017	2018	2019
1	3736	6444,4	8267,7	5164,2	4290,4
2	1664	1308,2	8178,3	5114,6	4529,5
3	851,8	1594,2	4606,2	3439,9	5165,4
4	1792,5	3178,7	50,8	4013,9	2967,8
5	1778,3	1420,8	–	4802,4	615,9
6	1508,1	490,7	–	2409	1233,1
Средневзвешенный номер уступа	3,07	2,54	1,8	3,2	2,7



трами бурения, так и с организационными условиями осуществления процесса. Усложнение горно-геологических и организационных 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 номер уступа БВР.

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

**Список литературы**

1. Evolution and effect of the stress concentration and rock failure in the deep multi-seam coal mining / Zhang M., Shimada H., Sasaoka T. et al. // Environmental Earth Sciences. 2014. Vol. 72. No. 3. P. 629-643.
2. Haldar S.K. Introduction to Mineralogy and Petrology (Second Edition). 7 August 2020. P. 187-268.
3. Stability analysis of rock structure in large slopes and open-pit mine: numerical and experimental fault modeling / B. Azarfar, S. Ahmadvand, J. Sattarvand et al. // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019. Vol. 52. No. 12. P. 4889-4905.
4. Брюзгина Н.И., Туезова Н.А. О законах изменения пористости и плотности горных пород с глубиной их залегания для отложений Западно-Сибирской низменности // Труды СНИИГГиМС. 1967. Вып. 62. С. 134–140.
5. Авчян Г.М., Матвеев А.А., Стефаневич З.Б. Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях. М.: Недра, 1979. 224 с.
6. Лысаков Б.А., Зубарев Ю.П. Пример влияния глубины залегания на петрографические и механические свойства песчаников // Известия АН СССР. Геология и разведка. 1968. № 1. С. 18–22.
7. 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.
8. Галимьянов А.А. Повышение эффективности взрывного рыхления мерзлых горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 51-1. 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. 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.
11. Abbaspour H., Drebenstedt C., Maghaminiket A. 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. Vol. 28. No 6. P. 839-848.



12. 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.

13. Механика сдвижения и разрушения горных пород / С.Д. Викторов, С.А. Гончаров, М.А. Иофис и др. 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. Vol. 6. No. 1. P. 84–94.

15. Совместная разработка сближенных пологих каменноугольных пластов в разнопрочных и мерзлых породах / А.И. Добровольский, А.А. Галимьянов, Е.Б. Шевкун и др. // Уголь. 2015. № 12. С. 34–38. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/0122015.pdf> (дата обращения: 15.01.2022).

16. Çelebi N. An equipment selection and cost analysis system for open pit coal mines // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. 1998. Vol. 12. No. 4. P. 181–187.

## SURFACE MINING

## Original Paper

UDC 622.23.2 © A.A. Sobolev, A.A. Galimyanov, 2022

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 2, pp. 22-25

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-2-22-25>

## Title

### TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF DRILLING AND BLASTING PARAMETERS DEPENDING ON THE DEPTHS INCREASE IN COAL MINING

## Authors

Sobolev A.A.<sup>1</sup>, Galimyanov A.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Khabarovsk Federal Research Center, Khabarovsk, 680000, Russian Federation

## Authors Information

**Sobolev A.A.**, Leading Research Associate, Institute of Mining, e-mail: [sobolev@khfrc.ru](mailto:sobolev@khfrc.ru)

**Galimyanov A.A.**, Senior Research Associate, Institute of Mining, e-mail: [azot-1977@mail.ru](mailto:azot-1977@mail.ru)

## Abstract

The authors of the article assessed the impact of the depth of open-pit coal mining on the change in the main parameters of drilling and blasting operations as well as their costs. At the “Bureinsky” and “Pravoberezhny” coal open-pits which belong to “Urgalugol” enterprise, it was investigated that as long as mining operations going deeper, the physical and mechanical properties of coal seams and in-situ rocks change, geological and organizational conditions of mining become significantly more complicated. These changes dramatically affect the actual parameters of the D&B, which ultimately leads to an increase in production and operation costs. In this regard, there significant discrepancies arise in the designed and actual budgets for overburden removal and mining operations. To calculate, adjust and justify the main production parameters, it is proposed to use the indicator of the actual weighted average number of the D&B operating bench, which is calculated from the volume of the blasted rock mass on each of the benches. It is established that the corresponding weighted average number of the bench, for a certain period of time, has a direct relationship with the specific operating costs, powder factor as well as the volume of rock blasted per 1 meter of the blast hole. The use of this indicator significantly simplifies the calculation and analysis of the main design and actual engineering parameters, makes it convenient to justify the appropriate rational parameters, allows to predict changes and fluctuations in the economic indicators of the D&B process.

## Keywords

Open-cast mining, Coal open-pit, Drilling and blasting operations, Mining depth, Rocks, Main parameters, Production costs.

## References

- Zhang M., Shimada H., Sasaoka T. et al. Evolution and effect of the stress concentration and rock failure in the deep multi-seam coal mining. *Environmental Earth Sciences*, 2014, Vol. 72, (3), pp. 629–643.
- Haldar S.K. Introduction to Mineralogy and Petrology (Second Edition), 7 August 2020, pp. 187–268.
- Azarfar B., Ahmadvand S., Sattarvand J. 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, Vol. 52, (12), pp. 4889–4905.
- Bryuzgina N.I. & Tuezova N.A. On laws of changes in rock porosity and density with their occurrence depth for sediments of the West Siberian Lowland. *Trudy Sibirskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii, geofiziki i mineral'nogo syr'ya*, 1967, (62), pp. 134–140. (In Russ.).

5. Avchyan G.M., Matveenko A.A. & Stefankevich Z.B. Petrophysics of sedimentary rocks in deep subsurface conditions. Moscow, Nedra Publ., 1979, 224 p. (In Russ.).

6. Lysakov B.A. & Zubarev Yu.P. Example of the occurrence depth effects on petrographic and mechanical properties of sandstones. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij, Geologiya i razvedka*, 1968, (1), pp. 18–22. (In Russ.).

7. 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.

8. Galimyanov A.A. Improving the efficiency of explosive ripping of frozen rocks. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2015, (S1-1), pp. 433–438. (In Russ.).

9. Sekisov G.V. & Sobolev A.A. Rational way of mining narrow vein steeply dipping ore deposits. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2012, (11), pp. 38–45. (In Russ.).

10. 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.

11. Abbaspour H., Drebenstedt C. & Maghaminiket A. 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, Vol. 28, (6), pp. 839–848.

12. Popov V.N., Silchenko O.B. & Paramonova M.S. On changes in physical and mechanical properties of rocks with occurrence depth. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2011, (5), pp. 108–117. (In Russ.).

13. Viktorov S.D., Goncharov S.A., Iofof M.A. et al. Mechanics of rock movement and breaking. Moscow, RAN Publ., 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, Vol. 6, (1), pp. 84–94.

15. Dobrovolsky A.I., Galimyanov A.A., Shevkun E.B. et al. Combined mining of adjacent gently sloping coal seams in formations of various strength and frozen formations. *Ugol'*, 2015, (12), pp. 34–38. (In Russ.). URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/0122015.pdf> (accessed 15.01.2022).

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

## For citation

Sobolev A.A. & Galimyanov A.A. Technical and Economical Analysis of Drilling and Blasting Parameters Depending on the Depths Increase in Coal Mining. *Ugol'*, 2022, (2), pp. 22–25. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-22-25.

## Paper info

Received December 18, 2021

Reviewed December 28, 2021

Accepted January 18, 2022