

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БУРОВЗРЫВНОГО КОМПЛЕКСА НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ

КОТЯШЕВ А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН

(Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58)

***Актуальность.** Дезинтеграция локальных массивов буровзрывным способом на отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятиях для подготовки минерального сырья к выемке и дальнейшей доставке на дробильно-обогащительные и отвальные комплексы на земной поверхности с наименьшими затратами остается актуальной до настоящего времени.*

***Цель работы.** Статистическая оценка влияния горнотехнических и горно-геологических факторов на показатели эксплуатации буровзрывного комплекса.*

***Методы.** При проведении исследований использованы методы системного и корреляционно-регрессионного анализа, моделирования и натуральных наблюдений.*

***Результаты исследований.** Выявлены тенденции и определены темпы изменения горнотехнических и горно-геологических факторов, характеризующих условия разработки месторождений, а именно: глубины карьеров; крепости взорванных и отгруженных горных пород; выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе. Установлены закономерности и дана оценка изменения показателей: удельного расхода ВВ; выхода горной массы с 1 м взорванных скважин; удельных затрат по переделам (бурения скважин, взрывного разрушения локальных массивов и в целом по подготовке к выемке 1 м<sup>3</sup> горной массы). Предложены корреляционно-регрессионные модели.*

***Использование результатов исследований.** Полученную информацию целесообразно использовать при проектировании и подготовке технологических взрывов на горных предприятиях при отработке глубоких горизонтов, прогнозировании условий и показателей буровзрывного комплекса на ближайшие годы эксплуатации.*

***Выводы.** С использованием установленных закономерностей, предложенных моделей и мер дальнейшего совершенствования организации и технологии разрушения локальных массивов на карьерах возможно на определенный период времени обеспечить стабилизацию и снизить темпы ухудшения технико-экономических показателей подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом.*

***Ключевые слова:** горнодобывающие предприятия; карьер; буровзрывной комплекс; подготовка горной массы к выемке; горнотехнические факторы; горно-геологические факторы.*

**Цель исследований.** Буровзрывной способ подготовки горной массы к выемке на открытых горных разработках остается доминирующим и наиболее экономичным. Целью выполненной работы является статистическая оценка влияния горнотехнических и горно-геологических факторов на показатели эксплуатации буровзрывного комплекса.

**Методология исследований.** При проведении исследований использованы: метод системного анализа факторов, характеризующих условия эксплуатации буровзрывного комплекса, технологических и технико-экономических показателей, метод корреляционно-регрессионного анализа, моделирование и натурные наблюдения. Исследования [1] свидетельствуют, что с ростом глубины открытых

разработок изменяется соотношение вмещающих пород в сторону увеличения крепости. При разработке железорудных месторождений с понижением рабочей зоны на каждые 100 м крепость пород увеличивается в среднем на 0,4–0,6 ед. по шкале М. М. Протодяконова. Наряду с этим наблюдается изменение структуры массива, а именно: увеличение доли некондиционных фракций во взорванной горной массе и уменьшение выхода ее с 1 м скважин. С увеличением глубины карьеров на каждые 50 м естественная блочность пород возрастает по разным генетическим типам месторождений в пределах 0,04–0,80 м, в среднем – на 0,26 м. Как следствие, наблюдается снижение производительности и эффективности буровзрывного и погрузочно-транспортных комплексов, что предопределяет увеличение удельного расхода взрывчатых материалов при подготовке горной массы к выемке. Установлено, что понижение горных работ на каждые 100 м приводит к удорожанию подготовки горной массы к выемке на 10–12 %.

**Таблица 1. Темпы изменения объемов выемки горной массы (1990–2015)**  
**Table 1. Rate of changes in the rock mass excavation volume (1990–2015)**

Показатель	1995	2000	2005	2010	2015	Среднее за период
Индекс	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>ср</sub>
Объединенный карьер	0,26	1,26	1,15	0,61	0,74	0,80

J – отношение глубин карьера.

Одним из основных требований к взорванной горной массе является минимальный выход негабаритных фракций [2, 3]. Решению этого вопроса на горных предприятиях уделяется большое внимание, проводится значительное количество исследований. Наиболее глубоко эта тема рассмотрена в трудах Н. В. Мельникова, К. Н. Трубецкого, Б. Н. Кутузова, В. Н. Мосинца, А. Н. Ханукаева, С. Д. Викторова и ряда зарубежных ученых [7–10]. Установлено, что при равномерном распределении взрывчатых веществ (ВВ) в массиве выход негабарита

**Таблица 2. Темпы изменения глубины карьеров (1985–2015)**  
**Table 2. Rate of open pits depth change (1985–2015)**

Показатель	1990	1995	2000	2005	2010	2015	Среднее за период
Индекс	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>ср</sub>
Объединенный карьер	1,14	1,02	1,01	1,02	1,08	1,04	1,051
В том числе:							
Центральный	1,08	1,01	1,01	1,00	1,09	1,07	1,043
Южный	1,22	1,04	1,01	1,04	1,08	1,00	1,063

связан с удельным расходом гиперболической зависимостью, которая в пределах применяемых практически удельных расходов без значительной погрешности может быть аппроксимирована прямой линией. Месторождения по добыче хризотил-асбеста, в отличие от железорудных, характеризуются бóльшим разнообразием по структуре, блочности, залеганию пород, трещиноватости, фракционному составу и ряду других специфических особенностей. Вмещающие породы Баженовского месторождения хризотил-асбеста представлены перидотитами, диоритами, серпентинитами, габбро, пироксенитами, тальк-карбонатными и другими видами пород.

Анализ структуры и объемов выемки рудоносных и пустых пород на карьерах ОАО «Ураласбест» за последние двадцать лет разработки месторождения свидетельствует, что взрывные работы по особо крепким рудоносным породам

IV и V категорий взрываемости, согласно местной классификации пород месторождения, составляют 62,8 % от общего объема добычи, а по крепким и особо крепким скальным породам IV и V категорий – соответственно 57 % от общего объема. При этом 85 % рудоносных пород, а именно 54 % перидотитов ОЖ V категории и 31 % серпентинитов МС III категории являются преобладающими [4, 5]. В табл. 1 приведены темпы изменения объемов выемки горной массы на карьерах предприятия в динамике разработки месторождения.

В табл. 2 приведены темпы изменения глубины карьеров  $H_k$ .

**Таблица 3. Корреляционно-регрессионные взаимосвязи факторов**  
**Table 3. Correlation-regression interactions of factors**

Фактор	Модель	$K_d$	$K_k$	Период, годы Глубина, м
Глубина карьера, м:				
Центральный	$H_k = 2,14t - 3965$	0,85	0,92	1985–2016
Южный	$H_k = 2,96t - 5640$	0,88	0,94	
Крепость пород, ед.	$f_{cp} = 0,002H_k + 9,1$	0,99	0,99	$200 \leq H_k \leq 350$
Выход негабарита, %	$N = 0,0101t - 19,71$	0,58	0,76	2005–2016

$K_d$  – коэффициент детерминации;  $K_k$  – коэффициент корреляции;  $t$  – год.

Анализ данных взаимосвязи средней крепости извлеченных из карьеров горных пород и глубины разработки свидетельствует, что каждые 100 м понижения рабочей зоны карьера крепость увеличивается на 0,2 ед. по шкале М. М. Протодьяконова, что на 13 % меньше, чем на железорудных месторождениях. В табл. 3 приведены корреляционно-регрессионные модели изменения глубины карьеров, средней крепости извлеченных горных пород и выхода негабарита во взорванной горной массе.

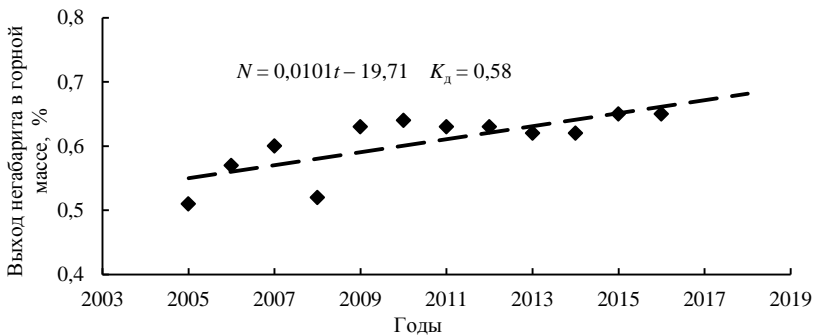


Рис. 1. Тренд изменения выхода негабаритных фракций  
Fig. 1. The trend of the oversized fractions output variation

На рис. 1 показано варьирование выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе в динамике разработки месторождения.

В табл. 4 установлены темпы изменения выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе в динамике разработки месторождения.

Анализ статистических показателей свидетельствует о том, что начиная с 2009 г. доля выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе, относительно предыдущего периода времени, стабильна (варьирует в пределах от 0,62 до 0,65 % за счет совершенствования технологии разрушения локальных массивов, параметров и конструкции скважинных зарядов).

**В процессе исследований установлены** тенденции снижения объемов выемки скальных пустых и рудоносных пород, изменения структуры и крепости извлеченных пород и руд с ростом глубины карьеров, что требует периодического научного уточнения основных параметров буровзрывных работ для целенаправленного и эффективного разрушения локальных массивов и получения необходимого гранулометрического состава во взорванной горной массе [4–6].

Таблица 4. Темпы изменения выхода негабарита (1995–2015)

Table 4. Oversize output rate of change (1995–2015)

Годы	2000	2005	2010	2015	Среднее за период
Индекс	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>ср</sub>
Объединенный карьер	1,04	1,06	1,25	1,02	1,09

На рис. 2 и рис. 3 приведены закономерности изменения показателей эксплуатации буровзрывного комплекса ОАО «Ураласбест» с ростом глубины разработки месторождения, а именно удельного расхода взрывчатых веществ и выхода горной массы с 1 м взорванных скважин, и установлены корреляционно-регрессионные взаимосвязи горнотехнических и технико-экономических показателей.

Анализ показателей и закономерностей свидетельствует, что с ростом глубины разработки месторождения с 200 до 350 м удельный расход взрывчатых веществ увеличился в 2,23 раза, а выход горной массы с 1 м взорванных скважин снизился в 1,43 раза.

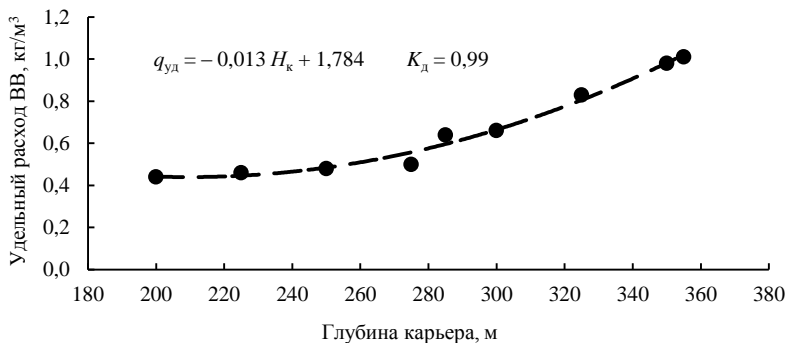


Рис. 2. Изменение удельного расхода ВВ с ростом глубины  
Fig. 2. Change in the specific consumption of explosives with increasing depth

На рис. 4 представлены закономерности изменения удельных затрат по операциям – бурению скважин, взрывному разрушению локальных массивов и в целом по подготовке к выемке 1 м<sup>3</sup> взорванной горной массы [11, 12].

Из анализа статистических показателей и закономерностей следует, что затраты на подготовку горной массы к выемке в целом увеличиваются, но при внедрении комплекса эффективных мер за последние два года затраты снизились на 23 %. При этом следует отметить, что затраты на бурение скважин снизились в 1,65 раза в основном за счет совершенствования организации работ и внедрения более прогрессивной системы поощрения работников бурового участка. Затраты на взрывные работы снизились в 1,12 раза за счет разрушения локальных массивов рассредоточенными скважинными зарядами, а также применения полипропиленовых рукавов для зарядов эмульсионных ВВ диаметром меньшим, чем диаметр пробуренных скважин, и других мероприятий, позволяющих обеспечить

снижение удельного расхода взрывчатых материалов. С учетом этого возможно достижение стабилизации себестоимости подготовки горной массы к выемке на определенный период времени.

### Результаты выполненных исследований:

– выявлены тенденции и определены темпы изменения горнотехнических и горно-геологических факторов, характеризующих условия разработки месторождений, а именно: глубины карьеров; крепости взорванных и отгруженных горных пород; выхода негабаритных фракций при разрушении локальных массивов;

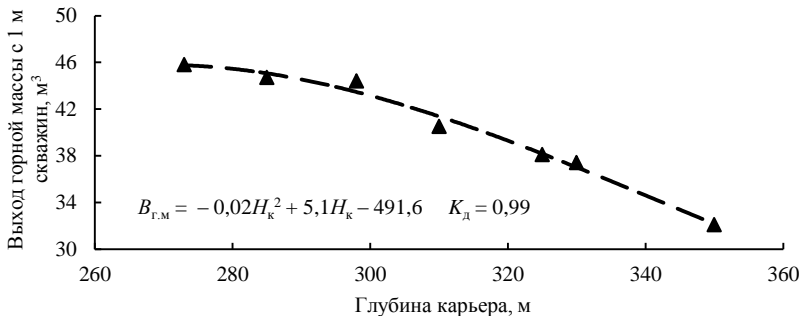


Рис. 3. Изменение выхода горной массы с 1 м скважин с ростом глубины  
Fig. 3. Change in rock output per 1 m of wells

– установлены закономерности и дана статистическая оценка изменения удельного расхода ВВ, выхода горной массы с 1 м взорванных скважин, удельных затрат по переделам: бурения скважин, взрывного разрушения локальных массивов и в целом по подготовке к выемке 1 м<sup>3</sup> горной массы;

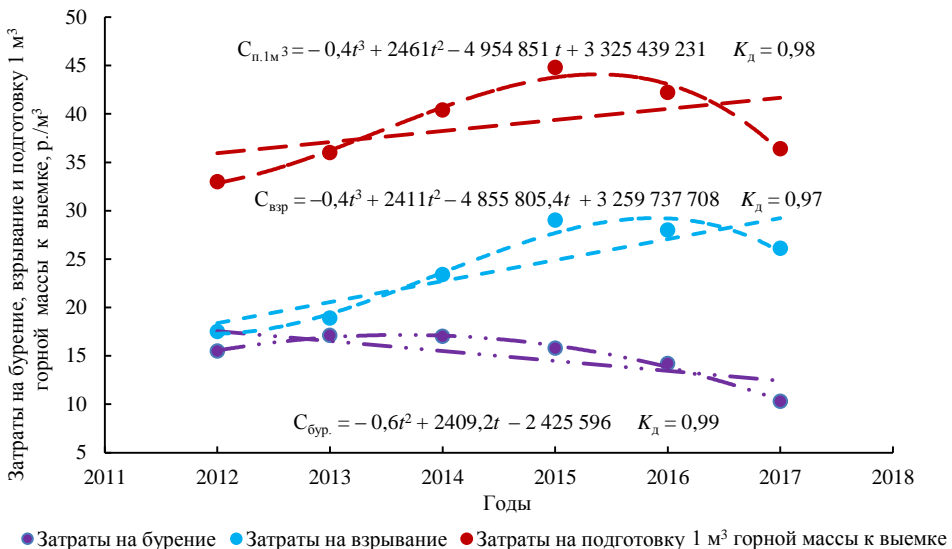


Рис. 4. Изменение удельных затрат на подготовку горной массы к выемке  
Fig. 4. Change in the unit costs for preparation of rock mass for the excavation

– предложены корреляционно-регрессионные модели, позволяющие с определенной степенью достоверности предсказать изменение этих факторов и показателей на ближайшие 3–5 лет при отработке глубоких горизонтов карьеров.

**Область применения результатов.** Результаты исследований целесообразно использовать при проектировании и подготовке технологических взрывов на глубоких карьерах и прогнозировании условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на ближайшую перспективу.

**Выводы.** С использованием установленных закономерностей, предложенных моделей и мер дальнейшего совершенствования организации и технологии разрушения локальных массивов на карьерах возможно, на определенный период времени, обеспечить стабилизацию и снизить темпы ухудшения технико-экономических показателей при подготовке горной массы к выемке буровзрывным способом в динамике разработки месторождений по добыче минерального сырья.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев М. В. Влияние возрастающей глубины карьеров на эффективность горного производства // Горный журнал. 1983. № 2. С. 29–33.
2. Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом. М.: МГИ, 1992. 516 с.
3. Мосинев В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.
4. Котьяшев А. А., Русских А. П. Динамика условий и показателей эксплуатации взрывного комплекса // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XIII Междунар. науч.-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека. Екатеринбург: УГГУ, 2015. С. 412–417.
5. Котьяшев А. А., Корнилов М. В., Русских А. П. Изучение и оценка структурных изменений при дезинтеграции скальных массивов в динамике развития карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 6. С. 17–24.
6. Котьяшев А. А., Глебов А. В. Тенденции изменения технологических показателей буровзрывного комплекса железорудных карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 75–83.
7. Hino Kumaо. Theory and practice of blasting. Japan: Nippon Kayaku Ltd., Asa, Yamaguchi-Ken, 1959.
8. Livingston C. W. Fundamental concepts of rock failure. Colorado School of Mines, 51, 3 (July 1956). P. 1–14.
9. Grant C. H. Design of open pits. Proceedings Seventh Symposium Rock Mechanics. Penn State University (June 1965). P. 48–67.
10. Kochanowsky B. J. Theory and practice of inclined drilling surface mining. Colorado School of Mines, 56, 1 (January 1961). 308 p.
11. Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990–2015 гг. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. 254 с.
12. Дружинин Н. К. Математическая статистика в экономике. М., 1971. 324 с.

Поступила в редакцию 30 мая 2018 года

**Для цитирования:** Котьяшев А. А. Закономерности изменения условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на открытых горных разработках // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 34–40.

#### Сведения об авторах:

**Котьяшев Альберт Александрович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН. E-mail: alcotaa@bk.ru

#### REGULARITIES OF CHANGES IN THE CONDITIONS AND PERFORMANCE OF A COMPLEX OF DRILLING AND BLASTING IN OPEN-PIT MINING

**Kotiashev A. A.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

**Research relevance.** The disintegration of local massifs by drilling and blasting method at the native and foreign mining enterprises for the preparation of raw materials for the extraction and further delivery to the crushing and processing and dump complexes on the earth's surface with the least cost, remains relevant to the present time.

**Research aim** is to statistically assess the impact of mining-engineering and mining-geological factors on the performance of a drilling and blasting complex.

**Methodology.** The methods of system and correlation-regression analysis, modeling and in-situ observations were used in the research.

**Research results.** The trends have been revealed and the rate of change have been determined in mining-engineering and mining-geological factors characterizing the conditions of deposits exploitation, namely:

the depth of open pits, blasted and loaded rocks hardness, the output of oversized fractions in the blasted rock mass. The indicators variation regularities have been determined and estimated: specific consumption of explosives, the yield of rock mass per 1 running meter of blasted wells, unit costs of the stages (wells drilling, local massifs explosive destruction, and preparation for the excavation of 1 m<sup>3</sup> of rock mass in general). The correlation - regression models have been proposed.

**Results application.** It is advisable to use the results of the research in the design and preparation of technological explosions at mining enterprises when mining deep horizons, and in the prediction of the drilling and blasting complex conditions and indicators for the coming years of operation.

**Conclusions.** With the use of the established regularities, proposed models and measures for further improvement of the local massifs destruction organization and technology in open pits, it is possible to ensure stabilization for a certain period of time and reduce the rate of deterioration of technical and economic indicators of rock mass preparation for the excavation by drilling and blasting method.

**Key words:** open pit; mining enterprise; drilling and blasting complex; rock mass preparation for excavation; mining-engineering factors; mining-geological factors.

The research has been carried out under the government contract 007-00293-18-00. Theme no. 0405-2018-0001. Project no. 18-5-5-10.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-34-40

#### REFERENCES

1. Vasil'ev M. V. [The influence of the increasing depth of open pits on the efficiency of mining]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 1983, no. 2, pp. 29–33. (In Russ.)
2. Kutuzov B. N. [Destruction of rocks with an explosion]. Moscow, MMI Publ., 1992. 516 p. (In Russ.)
3. Mosinets V. N. [Crushing and seismic action of an explosion in rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 271 p. (In Russ.)
4. Kotiashev A. A., Russkikh A. P. [The dynamics of a blasting complex operation conditions and indicators]. [Proc. 13th Internat. Sci.-Techn. Conf. Readings in memory of V. R. Kubachek "Technological Equipment for Mining and Oil and Gas Industry"]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2015, pp. 412–417. (In Russ.)
5. Kotiashev A. A., Kornilkov M. V., Russkikh A. P. [Study and evaluation of structural changes in blasting disintegration of rock massif in the development dynamics of asbestos stone-pits]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2017, no. 6, pp. 17–24. (In Russ.)
6. Kotiashev A. A., Glebov A. V. [Changing trends in technological parameters of drilling and blasting complex of iron ore open pits]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2015, no. 2, pp. 75–83. (In Russ.)
7. Hino Kumao. Theory and practice of blasting. Japan, Nippon Kayaku Ltd., Asa, Yamaguchi-Ken, 1959.
8. Livingston C. W. Fundamental concepts of rock failure. *Colorado School of Mines*, 51, 3 (July 1956), pp. 1–14.
9. Grant C. H. Design of open pits. *Proceedings Seventh Symposium Rock Mechanics*. Penn State University (June 1965), pp. 48–67.
10. Kochanowsky B. J. Theory and practice of inclined drilling surface mining. *Colorado School of Mines*, 56, 1 (January 1961), 308 p.
11. [Technical-economic indicators of mining enterprises in 1990–2015]. Ekaterinburg, IM UB RAS Publ., 2017. 254 p. (In Russ.)
12. Druzhinin N. K. [Mathematical statistics in economics]. Moscow, 1971. 324 p.

#### Information about authors:

**Kotiashev Al'bert Aleksandrovich** – Candidate of Engineering Science, senior researcher of the Laboratory of Rock Destruction, Institute of Mining UB RAS. E-mail: alcotaa@bk.ru