

## АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В РАЗЛИЧНЫХ ПОРОДАХ И ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

С.Н. Жариков<sup>1</sup>, В.А. Кутуев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия,  
e-mail: slavik1988@mail.ru

**Аннотация:** Представлены некоторые результаты исследований в направлении изучения сейсмического эффекта от технологических взрывов выемочных блоков вблизи охраняемых объектов. Представлены методические разработки Института горного дела Уральского отделения РАН для разработки защитных мероприятий от воздействия взрывных работ на охраняемые объекты в зависимости от массы ВВ в ступени замедления, коэффициента грунтовых условий и допустимой скорости сейсмических колебаний. Изложены подходы к регулированию параметров буровзрывных работ в зависимости закономерностей протекания волновых процессов в различных грунтовых условиях. Представлены материалы анализа данных, полученных за продолжительное время в различных горно-геологических условиях. Показаны результаты сравнения измеряемых значений со структурным ослаблением массива, что позволило выразить несколько зависимостей, приближающих расчёты к фактическому состоянию протекания волновых процессов в различных грунтах. Сами зависимости носят приближённый характер, хотя принцип этого уточнения, при соответствующем развитии, может иметь высокую значимость с точки зрения обеспечения безопасности горных работ. Высказаны предположения о перспективных направлениях в области изучения сейсмических явлений в горных породах и сейсмического действия взрывов на ближайшее будущее.

**Ключевые слова:** сейсмическое действие взрыва, сейсмоустойчивость, взрывные работы, разрушение горных пород, физико-механические свойства горных пород, безопасные расстояния, коэффициент грунтовых условий, промышленная безопасность.

**Благодарность:** Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 075-00581-19-00, темы № 0405-2019-0005 (2019–2021 гг.), а также при дополнительном привлечении хозяйственных средств.

**Для цитирования:** Жариков С.Н., Кутуев В.А. Анализ сейсмического эффекта в различных породах и грунтовых условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 44–53. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-44-53.

### Seismic effects in different rocks and soil

S.N. Zharikov<sup>1</sup>, V.A. Kutuev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia,  
e-mail: slavik1988@mail.ru

**Abstract:** Some studies into seismic effects produced by blasting in extraction panels nearby guarded objects are discussed. Procedures developed at the Institute of Mining of the Ural Branch, Russian Academy of Sciences for the protection of guarded objects from blasting impact depending on net explosive mass per delay interval, earth pressure coefficient and maxi-

mum allowable PPV. The author describes approaches to drilling-and-blasting designs depending on wave process behavior in different soil conditions. The long-term data analysis of different geological conditions is presented. The measurements were compared with calculated structural weakening of rock mass, which allowed identifying some relationships agreeable with the actual behavior of wave processes in various soils. These relationships are approximate though the approximation principle, given appropriate development, can be very significant regarding safety of mining. The promising areas of the near future research into seismic events and blast-induced load in rocks are proposed.

**Key words:** blast-induced load, seismic stability, blasting, rock fracture, physical and mechanical properties of rocks, safe distance, earth pressure coefficient, production safety.

**Acknowledgements:** The studies have been supported by State Contract No. 075-00581-19-00, Topic No. 0405-2019-0005 (2019–2021) and partly by an economic agreement fund.

**For citation:** Zharikov S.N., Kutuev V.A. Seismic effects in different rocks and soil. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):44-53. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-44-53.

---

## Введение

В настоящее время пока не существует более экономичного способа единовременного разрушения больших объемов горных пород, чем буровзрывные работы. Учитывая, что для поддержания нормального функционирования выстроенных городских агломераций требуется регулярное поглощение ресурсов, то добыча полезных ископаемых в ближайшее время будет проходить примерно в тех же объемах, и скорее всего с незначительными изменениями, связанными кризисными явлениями различного характера. Поэтому и объемы разрушения горных пород взрывом для выемки и транспортирования на поверхность во времени останутся прежними.

Следует заострить внимание на том, что как подземные горные выработки, так и открытые двигаются постепенно от горизонта к горизонту в глубину, а значит, последствия взрывов становятся более опасными, т.к. могут спровоцировать крупные обвалы, оползни и обрушения. Наиболее опасными для любого сооружения являются колебания, превышающие допустимые по критерию устойчивости, поэтому важным вопросом промышленной безопасности является контроль таких колебаний при

производстве взрывных работ, которые обеспечили бы сохранность или хотя бы минимальное негативное воздействие на объект при производстве взрывов [1–5]. Полностью исключить негативное влияние промышленных взрывов при добыче полезных ископаемых не представляется возможным [6–8]. Однако в наших силах сделать это влияние в целях безопасности горных работ по крайней мере минимальным и предсказуемым.

## Теория вопроса

Развитие направления исследований сейсмического эффекта неразрывно связано с изучением физики взрыва, т.к. от начальной скорости возмущения среды зависит время этого возмущения и выраженные в различных явлениях последствия. Процессы, протекающие на сверхзвуковых скоростях, исследовать крайне трудно. Как правило, часто применяются методы моделирования элементов процесса и последующее обобщение модельных представлений на основе экспериментальных данных [9–16].

В массиве горных пород волны напряжений ведут себя в соответствии с его структурой. Правда, математических методов для точного описания этой

структуры пока не существует. Изучение свойств массива в естественном залегании сводится к определению усредненных значений прочности по данным опробования. На протяженном участке свойства пород можно охарактеризовать лишь по интегральным характеристикам: скорости прохождения по массиву продольной волны и связанным с ней значением поперечной волны. Между тем нарушенный массив может по-разному отреагировать на прохождение волн с различными характеристиками, на что обращается внимание в работе [17].

Попытка каким-либо образом это прояснить привела к возникновению такого термина, как предразрушение горных пород. Использование этой нарушенности с пользой для горного производства послужило развитию направления по подбору к конкретным горным породам различных взрывчатых веществ с целью нахождения наиболее рационального соответствия. При это важным моментом оставалось соблюдение определенных характеристик волны, которые соответствуют взрываеваемой массе ВВ в ступени замедления. Развитие средств инициирования позволило значительно расширить варианты замедлений между зарядами в схеме и открыть возможность регулирования нужной нагрузки без изменения взрывчатых составов зарядов

ВВ, что было подтверждено на примере изменения угла наклона диагонали [18], а также применения различных сеток бурения скважин, отличных от квадратной.

Таким образом, удавалось добиться нужного управления взрывной нагрузкой. Ведь в случае взрывных работ скорость нагружения массива является во многом определяющей дальнейший выход волн на поверхность и их распространение. Работы по специальным исследованиям в этом направлении привели к отражению соответствующих мер безопасности в нормативной документации, а также методических указаниях [19].

### Анализ данных

Проведение ИГД УрО РАН значительного количества работ по измерениям сейсмического действия взрывов показали, что получаемые данные по скоростям в большинстве случаев меньше допустимых, что свидетельствует о правильной организации взрывных работ на большинстве предприятий, где проводились замеры. В мировой практике это также отмечено в работах [20–23]. Однако превышение допустимых значений скорости колебаний на других предприятиях заставило разбираться в причине этого. И в ряде случаев выяснилось, что ограничения параметров предполагали некий запас и щадящее

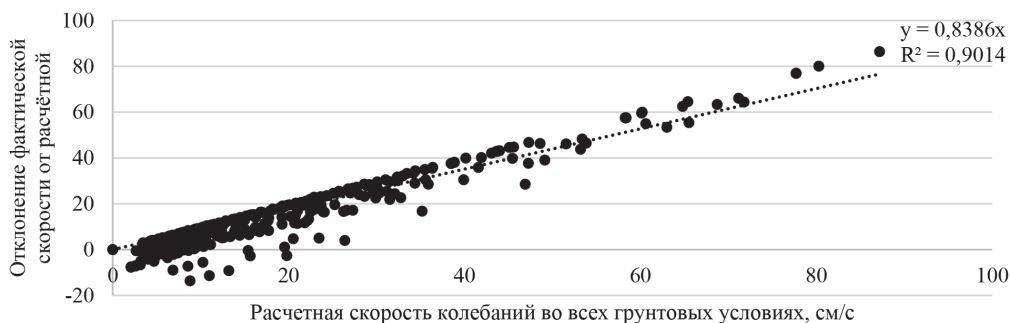


Рис. 1. Зависимость отклонения фактической скорости колебаний от расчетной величины в различных грунтовых условиях

Fig. 1. Actual-calculated PPV curve in different soil condition



Рис. 2. Схема изучения и анализа сейсмике взрывов  
Fig. 2. Flow chart of explosion seismics analysis

воздействие, а фактически наблюдались превышения колебаний. Рассмотрение технической документации позволило установить, что могут быть значительные отклонения колебаний от расчетных величин, связанные со структурным ослаблением горных пород. На рис. 1 приведена полученная зависимость отклонения фактической скорости колебаний от значения расчетной по всем грунтовым условиям.

Отклонения в пределах 15–20% могут быть связаны с различными причинами, в т.ч. может влиять место расположения датчиков, величина погрешности и, более всего, неоднородность массива. Поэтому данные значения на практике обычно считаются допустимыми.

В соответствии с методикой [19] для значений групп коэффициента грунтовых условий были установлены следующие средние отклонения (см. таблицу).

**Отклонения фактической от расчетной скорости сейсмических колебаний в различных грунтовых условиях**  
**Actual-calculated PPV deviation in different soil conditions**

Грунтовые условия, ед.	Среднее отклонение, %
K = 600	8,5%
K = 450	11%
K = 300	16%
K = 250	19,5%
K = 200	24,5%

После сопоставления полученных результатов с геологическими данными в соответствии с Методикой ИГД УрО РАН, общая схема которой представлена на рис. 2, открылась возможность уточнить выражения для расчета допустимой скорости колебаний в массиве с различным структурным ослаблением. Для трех соответствующих коэффициентов ( $\lambda$ ) такие зависимости представлены на рис. 3–5.

### **Обсуждение результатов**

Анализ данных, полученных Лабораторией разрушения горных пород ИГД УрО РАН в период с 2005 по 2019 гг. на различных месторождениях, позволил установить среднее отклонение фактических величин скорости колебаний от расчетных значений. Дальнейшее изучение причин отклонений привело к оценке структурных особенностей залегания горных пород и позволило выразить связь допустимой скорости колебаний, в зависимости от прочностных характеристик массива, при различном коэффициенте структурного ослабления. Разница между зависимостями, с одной стороны, не велика, но с другой стороны, сам коэффициент структурного ослабления является не строго определяемой величиной, т.к. пока нет методов точного описания массива, и значение

этого коэффициента устанавливается в приближении. При этом в последнее время развиваются методы исследования трещиноватости горных пород, снижается трудоемкость исследований и, возможно, в ближайшем будущем оценивать структурное ослабление станет проще. Тогда и различие между допустимыми скоростями при разной структуре будут выражены точнее. В настоящее время имеются общие зависимости без учета структуры массива, либо с представлением его как некоторой усредненной однородной среды, ведут к отклонениям фактических и расчетных значений. В части сейсмических колебаний данный факт следует рассматривать как временно приемлемый потому, что чем глубже горные работы, тем опаснее может быть выражена неточность расчетов. Поэтому зависимости, уточняющие протекание процесса в различных структурах, необходимо устанавливать на основе экспериментальных данных. В ближайшее время задачи изучения сеймики взрывов при разработке месторождений останутся такими же актуальными, как и сегодня.

### **Заключение**

В процессе анализа данных фактических измерений сеймики взрывов лабораторией РГП ИГД УрО РАН на различных месторождениях за период 2005–2019 гг. установлены средние отклонения фактических колебаний от расчетных значений при различных коэффициентах грунтовых условий. В среднем от 8,5 до 24,5% (меньшему значению соответствует  $K = 650$ , большему  $K = 200$ ). В попытке связать сейсмические данные и структурное состояние массива получены уточняющие зависимости для расчета допустимых скоростей колебаний на основе данных о физико-механических свойствах горных пород при различном структурном ослаблении. Сами

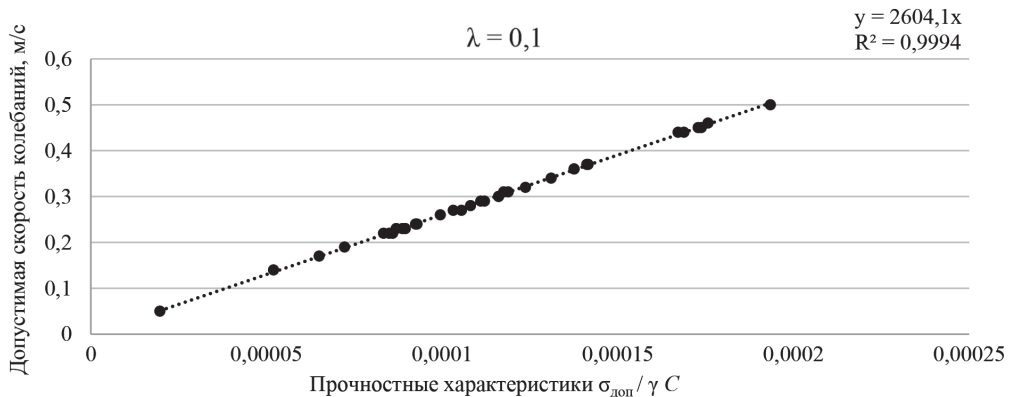


Рис. 3. Зависимость допустимой скорости колебаний от прочностных характеристик пород (при  $\lambda = 0,1$ )  
 Fig. 3. Allowable maximum PPV versus strength characteristics of rocks (at  $\lambda = 0.1$ )

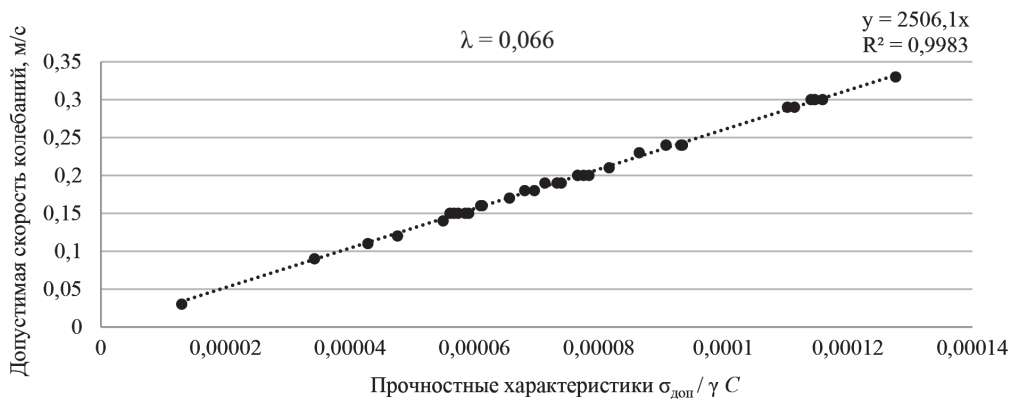


Рис. 4. Зависимость допустимой скорости колебаний от прочностных характеристик пород (при  $\lambda = 0,066$ )  
 Fig. 4. Allowable maximum PPV versus strength characteristics of rocks (at  $\lambda = 0.066$ )

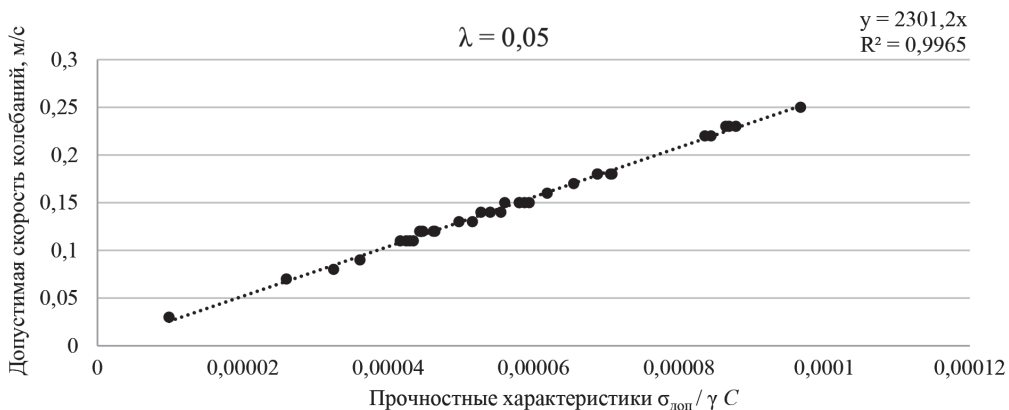


Рис. 5. Зависимость допустимой скорости колебаний от прочностных характеристик пород (при  $\lambda = 0,05$ )  
 Fig. 5. Allowable maximum PPV versus strength characteristics of rocks (at  $\lambda = 0.05$ )



зависимости носят приближенный характер, хотя принцип этого уточнения, при соответствующем развитии, может иметь высокую значимость с точки зрения обеспечения безопасности горных работ.

### **Направление дальнейших исследований**

Дальнейшие исследования в направлении сейсмоки взрывов неразрывно связаны с развитием математических

методов описания состояния массива, методов изучения свойств пород в естественном залегании, инструментальных методов оценки структурного состояния, а также с развитием физических представлений о взрыве, особенно с применением смесевых ВВ, изготавливаемых в местах применения.

Любая установленная малая закономерность взрыва уже существенно влияет на другие связанные направления исследований.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Зотеев В. Г.* Оценка возможности использования «Руководства по проектированию бортов карьеров» при проектировании открытой разработки рудных месторождений в условиях современной России [Электронный ресурс] // Горная промышленность: [сайт]. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/11267> (дата обращения 06.04.2020).

2. *Белин В. А., Холодилов А. Н., Господариков А. П.* Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов // Горный журнал. — 2017. — № 2. — С. 66–68. DOI: 10.17580/gzh.2017.02.12.

3. *Жариков С. Н., Шемениев В. Г., Кутуев В. А.* Способы уточнения свойств горных пород при производстве буровзрывных работ // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 74–80. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-1-74-80.

4. *Кутуев В. А., Жариков С. Н.* Влияние подземного массового взрыва на охраняемые объекты промплощадки при обрушении межэтажного целика // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3-1. — С. 368–382. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-368-382.

5. *Hosseini S. A., Tavana A., Abdolahi S. M., Darvishmaslak S.* Prediction of blast-induced ground vibrations in quarry sites: a comparison of GP, RSM and MARS // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 118–129. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.01.011.

6. *Жариков С. Н., Шемениев В. Г.* О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2013. — № 2. — С. 80–83.

7. *Аленичев И. А., Рахманов Р. А., Шубин И. Л.* Оценка действия взрыва скважинного заряда в ближнем поле с целью оптимизации параметров буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 4. — С. 85–95. DOI 10.25018/0236-1493-2020-4-0-85-95.

8. *McKenzie C. K.* Blasting near open pit walls. APSSIM. 2016. Pp. 83–94. DOI: 10.36487/ACG\_rep/1604\_0.5\_McKenzie.

9. *Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. — М.: Наука, 1966. — 687 с.

10. *Харитон Ю. Б.* Сборник научных статей. — Саров: ВНИИЭФ, 2003. — 451 с.

11. *Адушкин В. В., Соловьев С. П.* Генерация электрического и магнитного поля при воздушных, наземных и подземных взрывах // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40. — № 6. — С. 42–51.

12. *Садовский М. А.* Геофизика и физика взрыва: избранные труды. — М.: Наука, 2004. — 440 с.

13. *Асиновский Э. И., Лебедев Е. Ф., Леонтьев А. А. и др.* Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока. — М.: Наука, 2002. — 399 с.

14. Орленко Л. П. Физика взрыва и удара: учебное пособие для вузов. — М.: Физматлит, 2006. — 304 с.
15. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. — М.: Недра, 1976. — 271 с.
16. Qidong G., Wenbo L., Yingguo H., Zhaowei Y., Peng Y., Ming C. An evaluation of numerical approaches for S-wave component simulation in rock blasting // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2017, Vol. 9, No 5, pp. 830–842. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.05.004.
17. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах: пер. с англ. — М.: Недра, 1980. — 453 с.
18. Сенук В. М. Импульс взрыва и условия более полного использования его на дробление массивов крепких пород при скважинной отбойке // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 1979. — № 1. — С. 28–34.
19. Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. — Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1984. — 12 с.
20. Tripathy G. R., Shirke R. R., Kudale M. D. Safety of engineered structures against blast vibrations. A case study // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016. Vol. 8. No 2. Pp. 248–255. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.007.
21. Ak H., Konuk A. The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: a case study // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2008. Vol. 28. No 9. Pp. 686–694. DOI: 10.1016/j.soildyn.2007.11.006.
22. Ak H., Iphar M., Yavuz M., Konuk A. Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2009. Vol. 29. No 4. Pp. 669–676. DOI: 10.1016/j.soildyn.2008.07.003.
23. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016. Vol. 8. No 3. Pp. 341–349. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.009. **MIAB**

## REFERENCES

1. Zoteev V. G. Assessment of the possibility of using the «Guidelines for the design of quarry sides» in the design of open-pit mining of ore deposits in modern Russia. *Mining Industry Journal*, available at: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/11267> (accessed 06.04.2020)..
2. Belin V. A., Kholodilov A. N., Gospodarikov A. P. Methodical bases of forecasting the seismic action of mass explosions. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no 2, pp. 66–68. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.02.12.
3. Zharikov S. N., Shemenov V. G., Kutuev V. A. Methods for specifying the properties of rocks in the production of drilling and blasting operations. *Ustoychivoe razvitie gornykh territoriy*. 2017, vol. 9, no 1, pp. 74–80. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-1-74-80.
4. Kutuev V. A., Zharikov S. N. Influence of underground mass explosion on protected objects of the industrial site in case of collapse of the interstory whole. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no 3-1, pp. 368–382. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-368-382.
5. Hosseini S. A., Tavana A., Abdolahi S. M., Darvishmaslak S. Prediction of blast-induced ground vibrations in quarry sites: a comparison of GP, RSM and MARS. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2019. Vol. 119. Pp. 118–129. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.01.011.
6. Zharikov S. N., Shemenov V. G. On the impact of blasting on the stability of quarry sides. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2013, no 2, pp. 80–83. [In Russ].
7. Alenichev I. A., Rakhmanov R. A., Shubin I. L. Assessment of near-field blast effect toward optimized drilling-and-blasting in pit wall rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no 4, pp. 85–95. DOI 10.25018/0236-1493-2020-4-0-85-95.



8. McKenzie C. K. *Blasting near open pit walls*. APSSIM. 2016. Pp. 83–94. DOI: 10.36487/ACG\_rep/1604\_0.5\_McKenzie.

9. Zel'dovich Ya. B., Rayzer Yu. P. *Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavleniy* [Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena], Moscow, Nauka, 1966, 687 p.

10. Khariton Yu. B. *Sbornik nauchnykh statey* [Collection of scientific articles], Sarov, VNIIEF, 2003, 451 p.

11. Adushkin V. V., Solov'ev S. P. Generation of electric and magnetic fields in air, ground and underground explosions. *Fizika goreniya i vzryva*. 2004, vol. 40, no 6, pp. 42–51.

12. Sadovskiy M. A. *Geofizika i fizika vzryva: izbrannye trudy* [Geophysics and physics of explosion: selected works], Moscow, Nauka, 2004, 440 p.

13. Asinovskiy E. I., Lebedev E. F., Leont'ev A. A. *Vzryvnye generatory moshchnykh impul'sov elektricheskogo toka* [Explosive generators of powerful electric current pulses], Moscow, Nauka, 2002, 399 p.

14. Orlenko L. P. *Fizika vzryva i udara: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Physics of explosion and impact: textbook for universities], Moscow, Fizmatlit, 2006, 304 p.

15. Mosinets V. N. *Drobyashchee i seismicheskoe deystvie vzryva v gornykh porodakh* [Crushing and seismic action of explosion in rocks], Moscow, Nedra, 1976, 271 p.

16. Qidong G., Wenbo L., Yingguo H., Zhaowei Y., Peng Y., Ming C. An evaluation of numerical approaches for S-wave component simulation in rock blasting. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2017, Vol. 9, No 5, pp. 830–842. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.05.004.

17. Kuk M. A. *Nauka o promyshlennykh vzryvchatykh veshchestvakh: per. s angl.* [Science of industrial explosives, English–Russian translation], Moscow, Nedra, 1980, 453 p.

18. Senuk V. M. Impulse of explosion and conditions for more complete use of it for crushing of solid rock massifs during well-breaking. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 1979, no 1, pp. 28–34. [In Russ].

19. *Metodika obespecheniya seysmobezopasnoy tekhnologii vedeniya vzryvnykh rabot* [Methods for ensuring seismically safe technology for conducting explosive operations], Sverdlovsk, IGD MCHM SSSR, 1984, 12 p. [In Russ].

20. Tripathy G. R., Shirke R. R., Kudale M. D. Safety of engineered structures against blast vibrations. A case study. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016. Vol. 8. No 2. Pp. 248–255. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.007.

21. Ak H., Konuk A. The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: a case study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2008. Vol. 28. No 9. Pp. 686–694. DOI: 10.1016/j.soildyn.2007.11.006.

22. Ak H., Iphar M., Yavuz M., Konuk A. Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2009. Vol. 29. No 4. Pp. 669–676. DOI: 10.1016/j.soildyn.2008.07.003.

23. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016. Vol. 8. No 3. Pp. 341–349. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.009.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жариков Сергей Николаевич<sup>1</sup> – канд. техн. наук, зав. лабораторией, ведущий научный сотрудник, e-mail: 333vista@mail.ru,

Кутуев Вячеслав Александрович<sup>1</sup> – научный сотрудник, e-mail: slavik1988@mail.ru,

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения РАН.

**Для контактов:** Кутуев В.А., e-mail: slavik1988@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.N. Zharikov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory,  
Leading Researcher, e-mail: 333vista@mail.ru,

V.A. Kutuev<sup>1</sup>, Researcher, e-mail: slavik1988@mail.ru,

<sup>1</sup> Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences,  
620075, Ekaterinburg, Russia.

**Corresponding author:** V.A. Kutuev, e-mail: slavik1988@mail.ru.

Получена редакцией 28.04.2020; получена после рецензии 28.08.2020; принята к печати 10.11.2020.

Received by the editors 28.04.2020; received after the review 28.08.2020; accepted for printing 10.11.2020.



## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СЫПУЧИХ СВОЙСТВ РУДЫ И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА МАСШТАБНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

(2020, № 6, СБ 24, 24 с. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-24-3-24)

Савич Игорь Николаевич<sup>1</sup> — докт. техн. наук, профессор,

Мустафин Вадим Игоревич<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент, Сыренов Максим Олегович<sup>1</sup>, студент,

Лифарь-Лаптев Александр Александрович<sup>1</sup> — студент, Яковлев Антон Михайлович<sup>1</sup> — студент,

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

Определение оптимальных параметров высоты и ширины обрабатываемого слоя блока — один из важнейших факторов эффективного применения системы разработки с поэтажным обрушением. Показано несоответствие этих параметров при применяющейся на Оленегорском руднике системе разработки и предложено обоснование внесений принципиальных изменений. Решение проблемы получено экспериментальным путем, в ходе которого был создан лабораторный стенд, исключающий влияние стенок на формирование фигуры выпуска. Приведено подтверждение необходимости корректировки габаритов блока, это обуславливается произведенным исследованием процесса выпуска применительно к условиям железорудного месторождения. Определены параметры фигуры выпуска для варианта системы разработки, учитывающие оптимальную толщину обрушаемого слоя, которые отражены на масштабных физических моделях с применением натуральных материалов, предоставленных с месторождения. Путем лабораторного эксперимента изучены величина насыпной плотности, сыпучие свойства, угол естественного откоса и внутреннего трения эквивалентного материала модели, смешанного из различных фракций в пропорциях, соответствующих гранулометрическому составу отбитой руды на руднике. С помощью компьютерных моделей проводилась оценка функциональности как действующего варианта поэтажного обрушения, так и перспективного к внедрению при отработке запасов II очереди отработки.

Ключевые слова: фигура выпуска, поэтажное обрушение, подземная разработка, математическое моделирование, практические исследования, физическое моделирование, насыпная плотность, угол естественного откоса, потери, разубоживание, сепарация, толщина выпускаемого слоя, высота поэтажа, ширина отбитого слоя.

### INVESTIGATION OF LOOSE PROPERTIES OF ORE AND PARAMETERS OF THE DEVELOPMENT SYSTEM ON LARGE-SCALE PHYSICAL MODELS

I.N. Savich<sup>1</sup>, V.I. Mustafin<sup>1</sup>, A.A. Lifar'-Laptev<sup>1</sup>, A.M. Yakovlev<sup>1</sup>, M.O. Syrenov<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

Determining the optimal parameters of the height and width of the block layer being worked out is one of the most important factors in the effective use of a development system with a sub-storey collapse. The discrepancy between these parameters is shown in the development system used at the Olenegorsk mine and the justification for making fundamental changes is proposed. The solution to the problem was obtained experimentally, during which a laboratory stand was created that excludes the influence of walls on the formation of the release figure. Confirmation of the need to adjust the dimensions of the block is given, this is due to the study of the production process in relation to the conditions of the iron ore Deposit. The parameters of the output figure for the development system variant are determined, taking into account the optimal thickness of the collapsed layer, which are reflected on large-scale physical models using full-scale materials provided from the field. The bulk density, bulk properties, angle of natural slope and internal friction of the equivalent model material mixed from various fractions in proportions corresponding to the granulometric composition of the beaten ore at the mine were studied by laboratory experiment. With the help of computer models were used to assess the functionality of the current variant of sublevel caving and promising for implementation in developing inventory phase II testing.

Key words: production figure, sub-floor caving, underground mining, mathematical modeling, practical research, physical modeling, bulk density, angle of repose, loss, dilution, separation, thickness of the produced layer, sub-floor height, width of the broken layer.