НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 622.235
https://doi.org/ 10.56195/20793332-2026-26-5-118-124

SCIENTIFIC ARTICLE
UDC 622.235

# Увеличение ширины блока в приконтурной зоне карьера при помощи разгрузочных пауз с сохранением безопасного уровня сейсмики

**И. О. Ковальчук✉, А. А. Добрынин, Р. А. Рахманов**
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова» Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация*
✉ *io@kovalchuck.ru*

**Резюме.** Представлены результаты измерения сейсмического воздействия от массового взрыва в приконтурной зоне карьера, в том числе анализ влияния ширины взрываемого участка блока на амплитуду скорости смещения частиц породы. Выполнена оценка потери производительности экскавации в зависимости от ширины взрываемых блоков и представлены мероприятия, которые в целом способствуют повышению устойчивости бортов карьера и увеличению производительности выемочно-погрузочной техники. В основе статьи – технологии применения разгрузочных пауз совместно с электронной системой инициирования. Рассмотрен вариант совмещения электронной и неэлектрической систем инициирования. Отмечена важность высококвалифицированного сопровождения при внедрении электронных систем инициирования с учетом геолого-структурных особенностей горного массива. Результаты исследований могут быть полезными при подготовке горной массы к выемке буровзрывным способом в условиях глубоких карьеров, в том числе там, где вопросы сейсмической безопасности являются приоритетными.

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие, законтурное разрушение, скорость смещения частиц породы, геолого-структурные особенности, сейсмодатчики, внутрискважинные геофоны, регрессионный анализ, производительность экскавации, устойчивость бортов карьера, электронные системы инициирования, разгрузочные паузы

**Для цитирования:** Ковальчук И.О., Добрынин А.А., Рахманов Р.А. Увеличение ширины блока в приконтурной зоне карьера при помощи разгрузочных пауз с сохранением безопасного уровня сейсмики. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (5): 118-124. https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-118-124.

# Increasing of a blasted block width in the open pit final-wall zone by using relief pauses with keeping safety vibration

**I. O. Kovalchuk✉, A. A. Dobrynin, R. A. Rakhmanov**
*Institute of comprehensive exploration of mineral resources Russian academy of sciences, Moscow, Russian Federation*
✉ *io@kovalchuck.ru*

**Abstract.** This paper presents the results of measurements of blast-induced ground vibration from a production blast in the final-wall zone of an open pit, including an analysis of the effect of the blasted block width on the amplitude of peak particle velocity in the rock mass. The paper also evaluates the loss of excavation productivity as a function of the width of blasted blocks and proposes measures that generally contribute to improving pit slope stability and increasing the productivity of loading and hauling equipment. The paper is based on a description of a blasting technique involving the use of relief pauses in combination with an electronic initiation system. A combined application of electronic and non-electric initiation systems is also considered. In addition, the paper emphasizes the importance of highly qualified technical support during the implementation of electronic initiation systems, taking into account the geological and structural conditions of the rock mass. Research results can be useful to prepare for excavation rock mass by drilling and blasting method in the conditions of deep open pits where issues of seismic safety are priority.

**Keywords:** ground vibration, overbreak, peak particle velocity, geological and structural conditions, vibration sensors, in-hole geophone, regression analysis, excavation and loading equipment productivity, pit slope stability, electronic blasting system, relief pauses

**For citation:** Kovalchuk I.O., Dobrynin A.A., Rakhmanov R.A. Increasing of a blasted block width in the open pit final-wall zone by using relief pauses with keeping safety vibration. *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2026; 26 (5): 118-124. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-118-124.

© Ковальчук И. О., Добрынин А. А., Рахманов Р. А., 2026

## Введение

Электронные системы инициирования (ЭСИ) набирают все большую популярность в Российской Федерации при подготовке горных пород к выемке буровзрывным способом.

Основные отличительные особенности электронной системы инициирования от неэлектрической системы инициирования (НСИ):

– *безопасность.* В поверхностной взрывной сети (ВС) отсутствуют взрывчатые материалы, имеется возможность проверить работоспособность каждого электронного детонатора до подачи команды на взрыв;

– *вариативность времени замедления*. Возможность проектировать разнообразные схемы монтажа ВС, в том числе с разными направлениями и темпами отбойки (времени распространения инициирующего импульса в 1 м массива горных пород);

– *точность времени замедления*. Возможность снижать сейсмическое воздействие от взрыва, улучшать грансостав, эффективно применять рассредоточенные заряды взрывчатых веществ (ВВ), гарантировать проектную последовательность инициирования скважинных зарядов ВВ.

На многих зарубежных и отечественных карьерах ЭСИ успешно применяют именно в приконтурной зоне с целью снижения степени нарушенности законтурного массива при постановке уступов в конечное или долгосрочное положение. Частичный переход с НСИ на ЭСИ обусловливается дороговизной электронных детонаторов.

На сегодняшний день ЭСИ китайских брендов примерно в 1,5–5 раз дороже по сравнению с НСИ. Стоимость зависит от логистики и количества электронных детонаторов в одной партии поставки. Однако еще 10 лет назад стоимость ЭСИ была примерно на порядок дороже, чем НСИ. Поэтому применение ЭСИ становится все более целесообразным, в том числе с экономической точки зрения.

На глубоких карьерах из-за геолого-структурных особенностей месторождений отработка в приконтурной зоне требует особого внимания и применения различных методов щадящего взрывания [1–3]. Зачастую производительность выемочно-погрузочной техники снижается, если ширина и высота развала взорванной горной массы не соответствует оптимальным параметрам. Переход на узкие прибортовые блоки в приконтурной зоне карьера связан с необходимостью снижения сейсмического воздействия на борт, что способствует повышению его устойчивости.

Оценкой сейсмического действия взрыва занимались многие специалисты [4–15]. В основе их исследований лежит анализ амплитудно-частотной характеристики сейсмовзрывных волн, измеренной с помощью сейсмодатчиков в момент проведения массового взрыва.

При должном инженерном сопровождении с помощью применения ЭСИ в приконтурной зоне карьера можно добиться увеличения ширины прибортовых блоков с сохранением безопасного уровня сейсмического воздействия в сторону законтурного массива и требуемого качества к взорванной горной массе, что в свою очередь позволит значительно повысить производительность выемочно-погрузочной техники и оптимизировать затраты на буровзрывные работы (БВР).

**Цель исследований:** апробация в производственных условиях глубокого карьера технологии ведения взрывных работ, включающей создание разгрузочных пауз с применением ЭСИ.

## Методы проведения исследований

На карьере по добыче рудного золота, где вопросы устойчивости откосов уступов являются весьма актуальными, были выполнены измерения сейсмического воздействия с помощью внутрискважинных и поверхностных геофонов, а также с применением ЭСИ Hitronic. В основе измерений лежало сравнение пиковых скоростей смещения частиц горной породы (PPV– peak particle velocity) и выявление зависимости от ширины взрываемого участка блока в приконтурной зоне. Поскольку применяли ЭСИ, была возможность поделить блок на отдельные участки с разной шириной и взорвать их все за один массовый взрыв, не опасаясь подбоя поверхностной и внутрискважинной сети. Данные для анализа получали в результате измерений внутрискважинным геофоном, так как его применение позволяет объективно оценить амплитудно-частотную характеристику сейсмических волн в целике, исключив преломления, которые происходят в подошвенном слое уступа, нарушенного взрывом вышележащего блока.

В качестве внутрискважинного геофона (рис. 1) использовали сейсмодатчик чилийского производства, характеристики которого представлены в таблице 1.




***Рис. 1.*** **Внешний вид внутрискважинного геофона /**
***Fig. 1.*** **In-hole geophone view**

*Таблица 1 / Table 1*

**Технические характеристики внутрискважинного геофона / Technical parameters in-hole geophone**

| Характеристика | Параметр, описание |
|---|---|
| Модель | Minimate Pro, трехкомпонентный геофон для измерения ближней зоны взрыва, подключается к сейсморегистратору Instantel Minimate Pro через специальную соединительную коробку |
| $PPV_{max}$ | 2 543 мм/с |
| АЧХ | 28 Гц |
| Сопротивление | 162,1 ± 8 % Ом/м |
| Чувствительность | 0,0012674 В/мм/с |
| Длина кабеля | 15 м |
| Дата производства | 25.11.2024 |

В процессе измерения использовали два внутрискважинных геофона, которые устанавливали в скважины диаметром 152 мм на глубину 5,5 м, затем заливали их раствором бетона для обеспечения прочной связи со стенками скважины, то есть с ненарушенным массивом горных пород (рис. 2). При этом средняя высота уступа взрываемого блока горных пород составляла 7,5 м.

**Результаты исследований**

Последовательность взрывания участков была следующей: между участками 1 и 2 сделали паузу продолжительностью 1 с. Затем, после инициирования скважинных зарядов ВВ на участке 2, через 100 мс инициировали заряды на участке 3 и, далее, через 1 с инициировали заряды на участке 4, а затем на участке 5. Таким образом, изначальная ширина блока, составляющая 47 м, была разделена на две части: 28,5 и 18,5 м, при этом выдержан равномерный темп отбойки 20 мс/м на всех участках.

Процесс взрыва всего блока был зарегистрирован как внутрискважинными, так и поверхностными геофонами. Следует отметить, что значения PPV поверхностных геофонов оказались выше значений внутрискважинных (табл. 2) несмотря на то, что расстояние от ближайшей взрываемой скважины до внутрискважинного геофона было меньше. В качестве поверхностных геофонов применялись канадские сейсмодатчики от компании Instantel типа ISEE 2-250 Гц, более подробно с техническими характеристиками можно ознакомиться на сайте производителя [16].

*Таблица 2 / Table 2*

**Сравнение PPV поверхностного и внутрискважинного геофонов / PPV comparing of a surface and in-hole geophones**

| Тип геофона | № геофона | Ближайшее расстояние от геофона до взрываемой скважины, м | PPV, мм/с | Доминирующая частота, Гц |
|---|---|---|---|---|
| Поверхностный | $V_3$ | 20 | 165,4 | 24 |
| Поверхностный | $V_3$ | 20,7 | 150,5 | 32 |
| Внутрискважинный | $V_1$ | 17,7 | 144,5 | 36 |
| Внутрискважинный | $V_2$ | 17,5 | 99,9 | 36 |

Сравнительный анализ сейсмического воздействия от разных участков блока по полученным в эксперименте сейсмоданным от внутрискважинных геофонов был выполнен по модели приведенного расстояния [17–19] как

$$PVS = K * \left(\frac{R}{\sqrt{Q}}\right)^{-\alpha},$$

где $PVS$ – суммарный вектор максимальной скорости смещения грунта, мм/с;

$K$ – коэффициент сейсмичности;

$R$ – ближайшее расстояние до скважинных зарядов ВВ, м;

$Q$ – масса ВВ в скважинных зарядах, взрываемых в определенную ступень замедления, кг;

α – показатель степени затухания.

Отношение $\frac{R}{\sqrt{Q}}$ называется приведенным расстоянием ($SD$), для расчета которого учитывается общая масса ВВ в скважинах, взрываемых в окно времени 1 мс, и ближайшее расстояние от блока до геофона.

Внутрискважинные геофоны $V_1$ и $V_2$ подключались к сейсморегистратору Instantel Minimate Pro 6, из которого после взрыва были извлечены сейсмограммы, отражающие PPV на каждом участке (рис. 3).

Одним из традиционных подходов в мировой практике ведения горных работ в приконтурной зоне карьера является отработка узких прибортовых блоков отдельным массовым взрывом [20]. Ширина таких блоков, как правило, соответствует безопасной ширине охранного целика, которая в данном карьере имеет значение 20 м. Таким образом, выемочно-погрузочная техника зачастую вынуждена работать в забоях с недостаточной шириной заходки, где может снижаться ее производительность.

Для уточнения этой гипотезы была проанализирована производительность экскаватора ЭКГ-20 на протяжении двух горизонтов. В качестве критерия для анализа была взята средняя производительность экскаватора при ширине блоков до 30 м и при ширине блоков 30 м и более. Очевидно, что при увеличении ширины взрываемого блока появляется возможность сократить количество взрывных дней (смен), поэтому в качестве дополнительного критерия для анализа произво-




***Рис. 2.*** **Схема установки геофонов и расположения взрывных скважин / *Fig. 2.* Scheme of installing geophones and blast holes design**

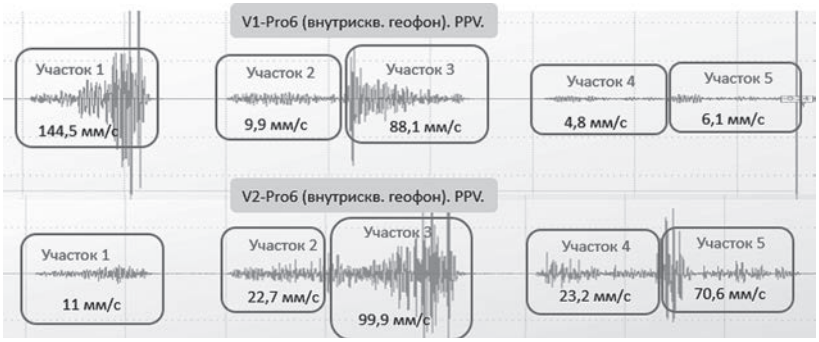



***Рис. 3.*** **Сейсмограммы от внутрискважинных геофонов /** ***Fig. 3.*** **In-hole geophones seismograms**

дительности было учтено время простоя экскаваторов ЭКГ-20 в среднем в течение суток в зависимости от наличия или отсутствия массового взрыва за период продолжительностью восемь месяцев.

**Обсуждение результатов**

Анализ производительности экскавации представлен на рисунках 4 и 5. Относительно влияния узких блоков на производительность было определено, что на горизонте +607,5 м потеря производительности экскаватора ЭКГ-20 составила 16,7 %, а на горизонте +600 м – 10,4 %. Что касается расчета простоев экскаваторов из-за проведения массовых взрывов, то сокращение количества взрывных дней способствует увеличению коэффициента использования оборудования (КИО) на 0,21 % за один день. Дополнительно к положительному эффекту можно отнести отсутствие износа ходовой части вследствие перегона экскаватора на безопасное расстояние 250–300 м в одну сторону, а также объем отгрузки взорванной горной массы 7,7 тыс. м$^3$ с одного экскаватора ЭКГ-20.

| | Средняя производительность при ширине блока до 30 м | Средняя производительность при ширине блока 30 м и более | Потеря производительности на узких блоках |
|---|---|---|---|
| | 962 | 1154 | **16.7%** |
| Ср. уд. расход ВВ, кг/м$^3$ | 0.63 | 0.67 | |
| Количество блоков | 15 | 18 | |

| | Средняя производительность при ширине блока до 30 м | Средняя производительность при ширине блока 30 м и более | Потеря производительности на узких блоках |
|---|---|---|---|
| | 914 | 1020 | **10.4%** |
| Ср. уд. расход ВВ, кг/м$^3$ | 0.72 | 0.68 | |
| Количество блоков | 16 | 16 | |

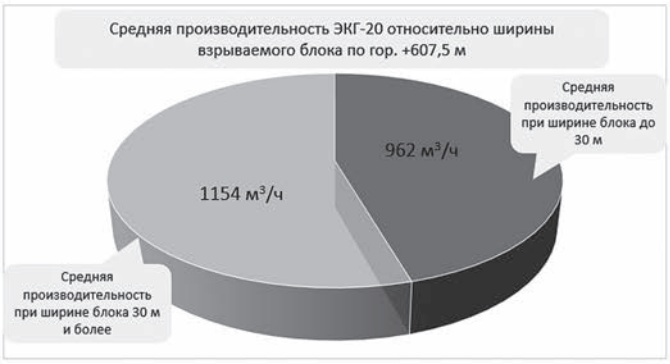




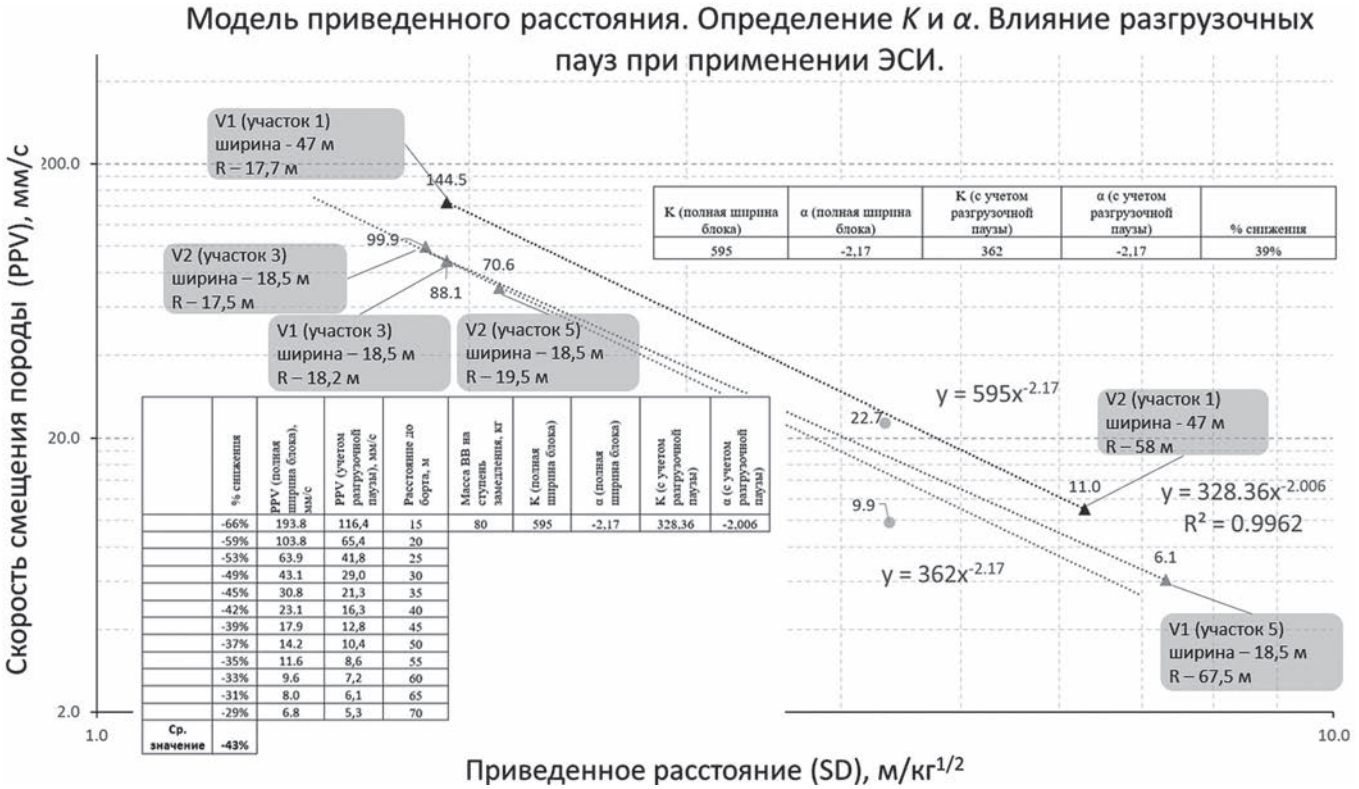


***Рис. 4.*** **Потери производительности экскаваторов ЭКГ-20 из-за узких взрываемых блоков /**
***Fig. 4.*** **Loss of ЭКГ-20 excavator productivity due to narrow blasted blocks**

| | Кол-во дней | Часы простоя в среднем в сутки | Сумма часов простоев | Общая сумма часов по простоям | Общая сумма часов | КИО | Если уменьшить кол-во взрывных дней на | Кол-во дней | Часы простоя в среднем в сутки | Сумма часов простоев | Общая сумма часов по простоям | КИО | Увеличение КИО |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ИТОГО без взрывных дней | 114 | 7.0 | 800.6 | | | | 1 | 115 | 7.0 | 807.6 | | | |
| ИТОГО в взрывные дни | 129 | 13.7 | 1773.0 | 2573.6 | 5832.0 | 0.56 | | 128 | 13.7 | 1759.3 | 2566.9 | 0.56 | **0.21%** |




***Рис. 5.*** **Простои экскаваторов ЭКГ-20 из-за массовых взрывов /** ***Fig. 5.*** **ЭКГ-20 excavator downtime caused by production blasting**




| K (полная ширина блока) | α (полная ширина блока) | K (с учетом разгрузочной паузы) | α (с учетом разгрузочной паузы) | % снижения |
|---|---|---|---|---|
| 595 | -2,17 | 362 | -2,17 | 39% |

| | % снижения | PPV (полная ширина блока), мм/с | PPV (учетом разгрузочной паузы), мм/с | Расстояние до борта, м | Масса ВВ на ступень замедления, кг | K (полная ширина блока) | α (полная ширина блока) | K (с учетом разгрузочной паузы) | α (с учетом разгрузочной паузы) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | -66% | 193.8 | 116,4 | 15 | 80 | 595 | -2,17 | 328,36 | -2,006 |
| | -59% | 103.8 | 65,4 | 20 | | | | | |
| | -53% | 63.9 | 41,8 | 25 | | | | | |
| | -49% | 43.1 | 29,0 | 30 | | | | | |
| | -45% | 30.8 | 21,3 | 35 | | | | | |
| | -42% | 23.1 | 16,3 | 40 | | | | | |
| | -39% | 17.9 | 12,8 | 45 | | | | | |
| | -37% | 14.2 | 10,4 | 50 | | | | | |
| | -35% | 11.6 | 8,6 | 55 | | | | | |
| | -33% | 9.6 | 7,2 | 60 | | | | | |
| | -31% | 8.0 | 6,1 | 65 | | | | | |
| | -29% | 6.8 | 5,3 | 70 | | | | | |
| Ср. значение | -43% | | | | | | | | |

***Рис. 6.*** **Результат регрессионного анализа сейсмоданных /** ***Fig. 6.*** **Regression analysis results of vibration data**

Результат сейсмического воздействия на законтурный массив, обработанный по модели приведенного расстояния и с помощью регрессионного анализа, представлен на рисунке 6. На графике четко видно, что воздействие от участка 1, взрываемого на полную ширину, значительно выше, чем от остального блока, поделенного на участки с помощью разгрузочных пауз.

Сравнительный анализ по оценке снижения сейсмического воздействия был выполнен двумя способами:

1. Построением параллельной проекции степенной линии тренда относительно сейсмоданных, полученных от участка 1, так как приведенное расстояние SD и скорость смещения породы PPV от участка 3, полученные от внутрискважинных геофонов $V_1$ и $V_3$, имели близкие друг к другу значения;

2. Построением степенной линии тренда по четырем точкам, полученным внутрискважинными геофонами $V_1$ и $V_2$ от участков 3 и 5.

В первом способе сравнивали только значения коэффициента сейсмичности *K*, так как показатель степени затухания α был одинаковый, а во втором способе оценивали средний процент снижения интенсивности сейсмической волны на расстоянии от 15 до 70 м до борта.

Таким образом были получены конкретные значения по снижению сейсмического воздействия на борт при условии применения ЭСИ и разгрузочных пауз, которые составили 39 и 43 %. Стоит отметить, что конкретные значения по снижению сейсмического воздействия (точность измерений) зависят от условий выполнения измерений, а именно от количества используемых внутрискважинных геофонов и геологических характеристик исследуемого участка массива.

В заключение отметим, что технология разгрузочных пауз применяется как с ЭСИ, так и в комбинации ЭСИ и НСИ (рис. 7). Подход с комбинированием ЭСИ и НСИ позволяет снизить общую трудоемкость производства взрывных работ на первых этапах, до тех пор, пока персонал взрывного участка не приобретет соответствующие навыки работы с электронными детонаторами.




***Рис. 7.*** **Схема отработки блока в приконтурной зоне карьера с применением электронных систем инициирования и разгрузочных пауз /**
***Fig. 7.*** **Blasted block excavation scheme at the final-wall zone with applying EBS and relief pauses**

## Выводы

1. Высококвалифицированное инженерное сопровождение при применении электронных систем инициирования позволяет проводить взрывные работы таким образом, чтобы развал взорванной горной массы имел оптимальные параметры для обеспечения высокопроизводительной экскавации, при этом устойчивость бортов не ухудшалась, а наоборот, сохранялась при увеличении глубины карьеров. Применение разгрузочных пауз совместно с электронными системами инициирования способствует увеличению ширины взрываемых блоков и, как следствие, повышению производительности экскавации.

2. Совмещение неэлектрических и электронных систем инициирования на одном блоке, в одном массовом взрыве, как показал эксперимент, может быть вполне приемлемым и

рациональным решением, при этом можно компенсировать дороговизну электронных детонаторов и относительную сложность работы с ними.

3. Эффективность разгрузочных пауз подтверждается путем измерения сейсмического воздействия внутрискважинными геофонами в законтурной части взрываемого массива. Однако всегда следует принимать во внимание геологические особенности массива, чтобы точнее определить места значительного увеличения времени замедления между скважинными зарядами взрывчатых веществ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES**


1. Фокин В.А. Проектирование и производство буровзрывных работ при постановке уступов в конечное положение на предельном контуре глубоких карьеров. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2003: 231.
   Fokin V.A. Design and Production of Drilling and Blasting Operations for Bringing Benches to Their Final Position Along the Final Contour of Deep Open-Pit Mines. Apatity: Publishing House of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 2003: 231. (In Russ.).
2. Read J., Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design. Collingwood: CSIRO Publishing, 2009: 483.
3. Arellano M., Poulakidas E. Efficient use of energy to control bench damage. *Proceedings of the International Society of Explosives Engineers* (*ISEE*). 2008; 1: 1-9.
4. Афанасьев П.И., Белов А.А. Оценка сейсмовзрывного воздействия на приконтурный массив по амплитудно-частотным характеристикам взрыва. *Горная промышленность*. 2025; (3): 138-145. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-138-145.
   Afanasyev P.I., Belov A.A. Assessment of seismic blasting impact on the near-contour rock mass based on the amplitude-frequency characteristics of blasting. *Mining Industry.* 2025; (3): 138-145. (In Russ.). https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-138-145.
5. Маринин М.А., Илюхин Д.А., Рахманов Р.А. и др. Оценка параметров сброса взорванной горной массы в выработанное пространство карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025; 1: 66-79. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_1_0_66.
   Marinin M.A., Ilyukhin D.A., Rakhmanov R.A., et al. Assessment of the parameters of blasted rock mass dumping into the mined-out space of an open-pit mine. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025; (1): 66-79. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_1_0_66.
6. Бондаренко И.Ф., Ковалевич С.В., Никитин Р.Я. Оценка интенсивности сейсмических нагрузок от взрывных работ на охраняемые объекты Накынской нефтебазы. *Маркшейдерия и недропользование.* 2023; (6): 68-75. https://doi.org/10.56195/20793332_2023_6_68_76.
   Bondarenko I.F., Kovalevich S.V., Nikitin R.Ya. Assessment of the intensity of seismic loads from blasting operations on protected facilities of the Nakyn Oil Depot. *Mine Surveying and Subsoil Use.* 2023; (6): 68-75. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2023_6_68_76.
7. Верхоланцев А.В., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю. и др. Мониторинг сейсмического воздействия взрывов на карьере «Шахтау». *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2019; (2): 59-69. https://doi.org/10.15372/FTPRPI20190207.
   Verkholantsev A.V., Dyagilev R.A., Shulakov D.Yu., et al. Monitoring of seismic impact of blasting at the Shakhtau open-pit mine. *Journal of Mining Science and Technology Problems of Mineral Development.* 2019; (2): 59-69. (In Russ.). https://doi.org/10.15372/FTPRPI20190207.
8. Господариков А.П., Киркин А.П., Трофимов А.В. и др. Определение физико-механических свойств горных пород при применении противоударных разгрузочных мероприятий. *Горный журнал*. 2023; 1: 26-34. https://doi.org/10.17580/gzh.2023.01.04.
   Gospodarikov A.P., Kirkin A.P., Trofimov A.V., et al. Determination of the physical and mechanical properties of rocks when applying anti-impact unloading measures. *Mining Journal.* 2023; (1): 26-34. (In Russ.). https://doi.org/10.17580/gzh.2023.01.04.
9. Господариков А.П., Выходцев Я.Н., Зацепин М.З. Математическое моделирование воздействия сейсмовзрывных волн на горный массив, включающий выработку. *Записки Горного института*. 2017; 226: 405-411. https://doi.org/10.25515/pmi.2017.4.405.
   Gospodarikov A.P., Vykhodtsev Ya.N., Zatsepin M.Z. Mathematical modeling of the impact of seismic blasting waves on a rock mass containing an excavation. *Journal of Mining Institute.* 2017; 226: 405-411. (In Russ.). https://doi.org/10.25515/pmi.2017.4.405.
10. Богацкий В.Ф., Пергамент В.Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. Москва, 1990: 228.
    Bogatsky V.F., Pergament V.Kh. Seismic Safety in Blasting Operations. Moscow, 1990: 228. (In Russ.).
11. Котиков Д.А., Шабаров А.Н., Цирель С.В. Связь распределения сейсмических событий и тектонической структуры массива горных пород. *Горный журнал*. 2020; (1): 28-32. https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.05.
    Kotikov D.A., Shabarov A.N., Tsirel S.V. Relationship between the distribution of seismic events and the tectonic structure of a rock mass. *Mining Journal.* 2020; (1): 28-32. (In Russ.). https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.05.
12. Наход В.А., Малов А.И., Данилов К.Б. и др. Оценка воздействия взрывных работ на карстовый рельеф заказника (Архангельская область). *ГИАБ*. 2025; (7): 38-54. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_7_0_38.
    Nakhod V.A., Malov A.I., Danilov K.B., et al. Assessment of the impact of blasting operations on karst terrain in a nature reserve (Arkhangelsk Region). *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2025; (7): 38-54. In (Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_7_0_38.
13. Садовский М.А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности при взрывах. Москва, 1946: 29.
    Sadovsky M.A. Simple Methods for Determining Seismic Hazard during Blasting Operations. Moscow, 1946: 29. (In Russ.).
14. Соколов С.Т., Хохлов С.В., Баженова А.В. Оценка влияния взрыва протяженного блока на охраняемый объект. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023; (9-1): 122-134. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_122.
    Sokolov S.T., Khokhlov S.V., Bazhenova A.V. Assessment of the effect of blasting of an extended block on a protected facility. *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2023; (9-1): 122-134. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_122.
15. Хохлов С.В., Соколов С.Т., Виноградов Ю.И. и др. Проведение промышленных взрывов вблизи газопроводов. *Записки Горного института*. 2021; 247: 48-56. https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.6.
    Khokhlov S.V., Sokolov S.T., Vinogradov Yu.I., et al. Conducting industrial blasting operations in the vicinity of gas pipelines. *Journal of Mining Institute. 2021;* 247:48–56. (In Russ.). https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.6.
16. Технические характеристики сейсморегистратора Instantel Minimate Pro, Micromate и геофонов типа ISEE 2-250 Гц: официальный сайт. URL: https://www.instantel.com/products.
    Technical specifications of the Instantel Minimate Pro and Micromate seismographs and ISEE 2–250 Hz geophones: official website. URL: https://www.instantel.com/products (In Russ.).
17. Duvall W.I., Fogelson D.E. Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations. *US Bur. Mines R15968.* 1962: 19.
18. Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W., et al. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. *Report of Investigation No 8507*. United States. Bureau of Mines, 1980.

19. Кутуев В.А. Анализ методик прогнозирования уровня сейсмического воздействия взрывов на охраняемые объекты и мероприятия по снижению сейсмики. *Взрывное дело*. 2025; 146-103: 133-150.
Kutuev V.A. Analysis of methods for predicting the level of seismic impact of blasting operations on protected facilities and measures to reduce seismic effects. *Explosives Engineering*. 2025; 146-103: 133-150.
20. McKenzie, CK Blasting near open pit walls. *APSSIM 2016 – PM Dight (ed.): Proceedings of the First Asia Pacific Slope Stability in Mining Conference, Australian Centre for Geomechanics*. Perth: 83-94. https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1604_0.5_McKenzie.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

***Иван Олегович Ковальчук*** –
*аспирант ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: io@kovalchuck.ru*

***Александр Артурович Добрынин*** –
*канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН», г. Москва, Российская Федерация*

***Руслан Азаматович Рахманов*** –
*канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН», Российская Федерация*

**Критерии авторства:**
Авторы заявляют о преобладающем вкладе И. О. Ковальчука в работу над статьей.

**Конфликт интересов:**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о статье**
Поступила в редакцию: 29.06.2026
Поступила после рецензирования: 17.09.2026
Принята к публикации: 12.10.2026

## ABOUT THE AUTHORS

***Ivan O. Kovalchuk*** –
*Postgraduate Student, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources named after academician N.V. Melnikov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

***Alexander A. Dobrynin –*** *Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources named after academician N.V. Melnikov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

***Ruslan A. Rakhmanov*** –
*Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources named after academician N.V. Melnikov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

**Contribution:**
The authors declare the predominant contribution of I. O. Kovalchuk to the work on the article.

**Conflict of interest:**
The authors declare no conflict of interest.

**Article info**
Received: 29.06.2026
Revised: 17.09.2026
Accepted: 12.10.2026