

Научная статья

УДК 622.857

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-158-164

## РАЗРАБОТКА ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ДОБЫЧЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КАРЬЕРАХ НОВОСИБИРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Клишин Игорь Валентинович

Сибирский государственный университет водного транспорта

\* для корреспонденции: Klishin66@ya.ru



### Информация о статье

Поступила:

27 ноября 2025 г.

Одобрена после  
рецензирования:

15 января 2026 г.

Принята к публикации:

12 февраля 2026 г.

Опубликована:

29 июня 2026 г.

### Ключевые слова:

карьер, горная порода, щебень, заряд, масса, взрывчатое вещество, интервалы замедлений, схемы расположения, схемы взрывания зарядов, диаметр

### Аннотация.

Целью работы является разработка параметров буровзрывных работ при добыче строительных материалов на карьерах. Задачи исследований включают разработку комбинированных схем распределения и взрывания скважинных зарядов ВВ на карьерах по добыче строительных материалов. Методы исследований: обобщение горно-геологических особенностей карьеров по добыче строительных материалов, обобщение результатов исследований методами математической статистики и корреляционного анализа, опытно-промышленных испытаний. Выполнены экспериментальные исследования по взрывной отбойке горных пород при добыче строительных материалов на карьерах, где значительная часть строительных материалов представлена гранитоидами, роговиками, алевролитами, диабазами, песчаниками и др. Высота уступов на отработанных частях карьеров колебалась от 10 до 15 м, ширина рабочей площадки добычного уступа 48 м. Выявлено, что изменение условий отбойки в связи с усложнением горно-геологических условий, обводненности, увеличением глубины горных работ на карьерах требует совершенствования параметров буровзрывных работ. Установлено, что при применении комбинированных схем распределения скважинных зарядов ВВ диаметром от 135 и 203 мм в пять-десять и более рядов по ширине блоков достигнуто снижение выхода негабарита на 15-20%. Определено, что взрывание скважинных зарядов ВВ с расположением по 4(5)-14 рядов по диагональной и клиновой схемам взрывания с интервалами замедлений 500-925 мс способствует снижению выхода негабарита на 12-20%. Установлен ряд зависимостей изменения массы зарядов ВВ от количества рядов, выхода негабарита от диаметра скважин, а также количества рядов скважинных зарядов ВВ. Кроме того, определено, что для снижения выхода негабарита следует применять разработанные конструкции зарядов ВВ с воздушными промежутками

**Для цитирования:** Клишин И.В. Разработка взрывной отбойки горных пород при добыче строительных материалов на карьерах новосибирского промышленного района // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 2 (174). С. 158-164. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-158-164, EDN: AFYHTC

### Введение

Значительная часть месторождений строительных материалов обрабатывается открытым способом, материалы представлены гранитоидами, роговиками, алевролитами,

диабазами, песчаниками и др. [1]. Горные породы отличаются структурными и прочностными свойствами, коэффициент крепости по М. М. Протодяконову колеблется от 4 до 13(18), по степени гидрогеологических

условий месторождения относятся к группе средней сложности.

Месторождения Борок, Краснобродское, Шипуновское, Самарское и др. приурочены к юго-восточному контакту верхнепалеозойского массива гранитоидов. Высота уступов на отработанных карьерах колеблется от 10 до 15 м и более; ширина рабочей площадки добычного уступа 48 м, вскрышного – 29 м. Для транспортирования горной массы используются съезды с применением экскаваторов Э-2503, ЭКГ-49, ЭКГ-5А, R-962, САТ-365В и др., транспортировка производится автосамосвалами БелАЗ-75401, 75407, МАЗ-5516 и др.

Обрушение блоков на карьерах строительных материалов осуществляется взрыванием скважинных зарядов ВВ с применением граммонитов, гранулитов и др. [2, 3]. Удельный расход ВВ колеблется от 0,83 до 1,15 кг/м<sup>3</sup>, выход негабарита 5-10% и более. Иницирование зарядов ВВ производится при разных схемах взрывания с помощью неэлектрической и электронной систем [4–9].

Однако изменение условий отбойки в связи с усложнением горно-геологических условий, обводненности, увеличением глубины горных работ на карьерах требует совершенствования параметров буровзрывных работ [10–20].

#### Методы исследования

Проведены исследования по совершенствованию рациональных комбинированных схем распределения скважинных зарядов ВВ разного диаметра и их конструкции для достижения качественного дробления горной массы на карьерах. Экспериментальные исследования по управлению энергией взрыва проводились при взрывании ряда блоков с комбинированными схемами расположения скважинных зарядов ВВ диаметром от 135 до 203 мм в пять-десять и более рядов по ширине блоков. Блоки имели следующие параметры: длина блока колебалась от 70 до 170 м, ширина – от 29 до 40 м и высота уступов с углом рабочего откоса добычного уступа 80° – от 10 до 15 м. Обрушаемые запасы пород крепостью по М. М. Протоdjяконову от 4 до 16 составляли 22,5-220,8 тыс. т.

Удельный расход определялся по формуле В. Н. Кутузова:

$$q = q_e e, \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

где  $q$  – фактический удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $e$  – переводной коэффициент (коэффициент работоспособности ВВ).

Расчетная величина преодолеваемого сопротивления по подошве уступа (СПП)  $W$  при многорядном расположении скважин для одиночного скважинного заряда определяется по формуле

$$W = 0,9\sqrt{P/q}, \text{ м}, \quad (2)$$

где  $P$  – вместимость ВВ в 1 м скважины, кг/м.

Если величина расчетной  $W$  больше 0,8 Н уст., то  $W$  принимается в пределах (0,6÷0,8) Н уст. СПП с учетом взаимодействия зарядов  $W_{\text{вз}}=W(1,6-0,5m)$ , м, при  $m \leq 1,2$ . Расстояние между зарядами в ряду  $a = mW$ , м, где  $m$  – относительное расстояние между зарядами в ряду в пределах от 0,8 до 1,4. Масса заряда в скважине определялась по формуле  $Q = qWaH$ , кг.

В качестве ВВ для скважинных зарядов применялись граммонит 79/21, эмуласт, гранулит УП-1, аммонит 6ЖВ, эмульсолит П и др. Вместимость ВВ на 1 м скважин колебалась от 13 до 20 кг. Удельный расход ВВ на отбойку изменялся от 0,78 до 1,3 кг/м<sup>3</sup>. Бурение скважин осуществлялось станками ROC-460 НТ, ROC-L6, СБШ-250 и др. Погрузка и транспортировка горной массы производилась конвейерами, экскаваторами и автосамосвалами.

#### Результаты исследования

Экспериментальные исследования показали, что эффективность взрывной отбойки определяется взаимным расположением скважинных зарядов увеличенного диаметра с многорядным их расположением. Выявлено, что взаимное расположение скважинных зарядов диаметром 135-170 мм в четыре-пять рядов позволило снизить выход негабарита на 15-20%.

Разработаны и прошли испытания шести-, семи-, десятирядные и более схемы распределения скважинных зарядов ВВ диаметром 244 мм. Сетка скважин 7×8 (7×7) м, переbur скважин – 2 м. Глубина скважин колебалась от 12,5 до 16 м. Суммарная длина скважин составляла 1722 м и более. Установлено, что существенное влияние на качество дробления горной массы оказывает шести- и семирядное распределение скважин увеличенного диаметра с использованием контурных скважин диаметром 127 мм, при этом снижен выход негабарита на 8%.

Прошли промышленную проверку схемы обрушения добычных уступов вертикальными скважинами диаметром 215 и 171 мм, а также наклонными скважинами – 203 мм, расположенными в пять рядов со взрыванием зарядов по диагональной схеме. Определено, что при увеличении диаметра скважин до 203 мм выход негабаритной горной массы увеличился на 5%.

Рассмотрены различные схемы обработки при 5-14-рядном распределении скважинных зарядов различного диаметра 135-170 (220) мм; схемы взрывания и интервалов замедления (500-925 мс) при глубине скважин 10-11 м.

#### Обсуждение

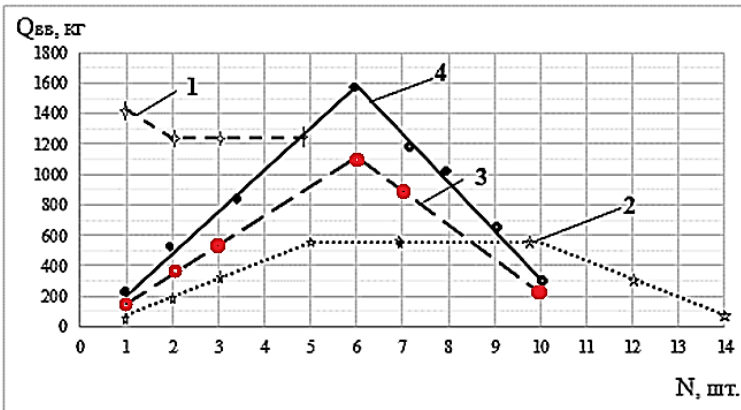


Рис. 1. Распределение массы зарядов ВВ по рядам при взрывании: по порядной (1), диагональной (2) и клиновой (3) схемам с диаметром скважин 156 мм и клиновой схеме с диаметром скважин 202 мм (4)

Fig. 1. Distribution of the mass of explosive charges by rows during blasting: according to the row (1), diagonal (2) and wedge (3) schemes with a hole diameter of 156 mm and a wedge scheme with a hole diameter of 202 mm (4)

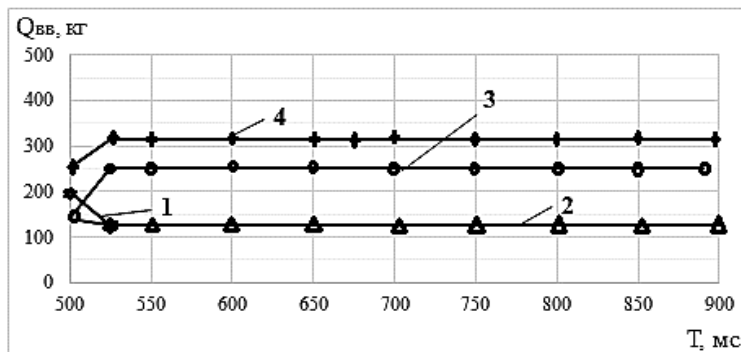


Рис. 2. Изменение массы зарядов ВВ ( $Q_{вв}$ ) по интервалам замедления ( $T$ ) по порядной (1), диагональной (2) и клиновой (3) схемам взрывания зарядов диаметром 156 мм и клиновой схеме (4) при диаметре зарядов 202 мм

Fig. 2. Change in the mass of explosive charges ( $Q_{вв}$ ) by delay intervals ( $T$ ) according to the row (1), diagonal (2) and wedge (3) schemes of detonation of charges with a diameter of 156 mm and the wedge scheme (4) with a charge diameter of 202 mm

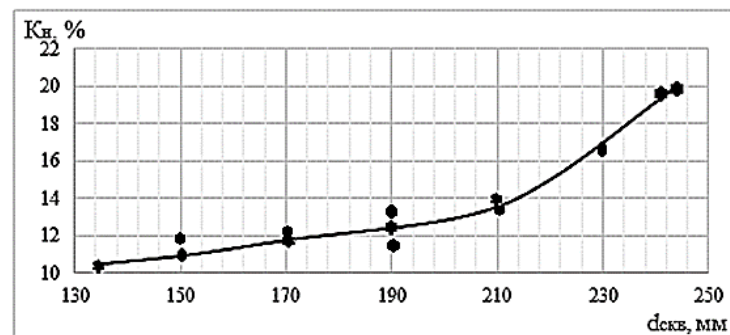


Рис. 3. Изменение выхода негабаритных кусков ( $K_n$ ) при многорядном взрывании скважинных зарядов ВВ различного диаметра ( $d_{скв}$ )

Fig. 3. Change in the yield of oversized pieces ( $K_n$ ) during multi-row blasting of borehole explosives of different diameters ( $d_{borehole}$ )

На Рис. 1 представлен график распределения

массы зарядов ВВ ( $Q_{вв}$ ) по рядам при обрушении скальных пород по разным схемам взрывания.

Максимальный расход ВВ наблюдался при пяти- и десятирядном распределении рядов скважин и колебался от 1200 до 1500 кг и более, причем при взрывании по поперечной схеме пяти рядов с диаметром скважин 156 и 202 мм масса ВВ по рядам составляла 1300-1420 кг. При диаметре скважин 202 мм по диагональной схеме в четырнадцать рядов удалось снизить массу ВВ первого и четырнадцатого рядов до 130 кг, и в рядах 5-10 до 550 кг.

Установлено, что при многорядном распределении зарядов (5-10) диаметром 156 мм достигается качественное дробление горной массы со снижением выхода негабарита в 1,2-1,5 раза (при диаметре 202 мм за счет использования в конструкции зарядов воздушных промежутков). В целом рассредоточение зарядов ВВ диаметром 156 и 202 мм по интервалам замедления от 500 до 925 мс при отбойке по порядной и диагональной схемам с массой ВВ составляет от 115 до 260 кг, при клиновой – 160-358 кг (Рис. 2).

Выявлено, что качественное дробление пород при 3 (5) ÷ 6 (15)-рядном распределении скважинных зарядов ВВ разного диаметра 135-244 мм достигается при диаметрах 135-171 мм, а с увеличением диаметра до 244 мм выход негабарита увеличивается на 12-20%. Однако дальнейшему увеличению выхода негабарита препятствует применение разработанных конструкций зарядов с воздушными промежутками (Рис. 3).

Установлено, что снижению выхода негабарита от 15 до 5% также способствует распределение скважинных зарядов ВВ в 5 (7) ÷ 15 рядов (Рис. 4).

Разработана методика расчета параметров буровзрывных работ, включающая определение рациональной массы заряда ВВ,

удельного расхода ВВ, сетку расположения скважин, их конструкции.

#### Выводы

1. Установлено влияние отработки блоков на карьерах по добыче строительных материалов на качество дробления горной массы. Снижение выхода негабарита на 8-10% при добыче строительных материалов на карьерах достигается комбинированными схемами многорядного распределения скважинных зарядов ВВ (в 5-10 рядов и более) диаметром 135-203 мм. Предложена методика определения основных параметров буровзрывных работ.

2. Управление качеством дробления горных пород в массиве на карьерах достигается конструкцией скважинных зарядов ВВ с чередованием воздушных промежутков, которые включают неводоустойчивое ВВ, помещенное в цилиндрическую оболочку, в которой расположен взрыватель, а также полую гофрированную трубу с ребристыми стенками и герметичным дном для создания кумулятивного эффекта.

3. Установлено, что при взрывании блоков качественная проработка нижней и верхней части уступов со снижением выхода негабарита на 2-5% достигается за счет расположения воздушного промежутка в центральной части скважин, уменьшения величины перебура скважин в 1,1-2,0 раза от их диаметра (135-170 мм) и применения более мощного взрывчатого вещества в основных зарядах ВВ.

4. Повышение эффективности отбойки блоков скважинными зарядами ВВ на карьерах обеспечивается применением диагональной и трапециевидной схем взрывания с короткозамедленным инициированием.

5. Максимальный расход ВВ наблюдается при пяти- и десятирядном распределении рядов

скважин, который колеблется от 1200 до 1500 кг и более, причем взрывание происходит по поперечной схеме пяти рядов диаметром скважин 156 и 202 мм, где масса ВВ по рядам составляла 1300-1420 кг. При диаметре скважин 202 мм взрывание по диагональной схеме в четырнадцать рядов позволило снизить массу ВВ первого и четырнадцатого рядов до 130 кг, а в рядах 5-10 до 550 кг.

6. Установлено, что при многорядном распределении зарядов (5-10) диаметром 156 мм достигается качественное дробление горной массы со снижением выхода негабарита в 1,2-1,5 раза (при диаметре 202 мм – за счет использования в конструкции зарядов воздушных промежутков).

7. Выявлено, что качественное дробление пород при 3 (5) ÷ 6 (15)-рядном распределении скважинных зарядов ВВ разного диаметра 135-244 мм достигается при диаметрах 135-171 мм, а с увеличением диаметра до 244 мм выход негабарита увеличивается на 12-20%. Однако дальнейшему увеличению выхода негабарита препятствует применение разработанных конструкций зарядов с воздушными промежутками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин А. Н. Совершенствование технологии проведения массовых взрывов на каменных карьерах строительных материалов. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Новосибирск : ИГД СО РАН, 2008. 22 с.

2. Оверченко М. Н., Толстунов С. А., Мозер С. П. Влияние горно-геологических условий и техногенных факторов на устойчивость взрывных скважин при открытой разработке апатит-нефелиновых руд // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 239–244. DOI: 10.255515/PMI.2018.3.239.

3. Рубцов С. К. Научно-техническое обоснование, разработка и внедрение методов интенсификации и управления взрывным разрушением разнопрочных горных пород при открытой разработке сложноструктурных месторождений. Автореф. дисс. докт. техн. наук. М. : ОАО «ВНИИПромтехнологии», 2009. 45 с.

4. Павлович А. А., Коршунов В. А., Бажуков А. А., Мельников Н. Я. Оценка прочности массива горных пород при разработке месторождений открытым способом // Записки

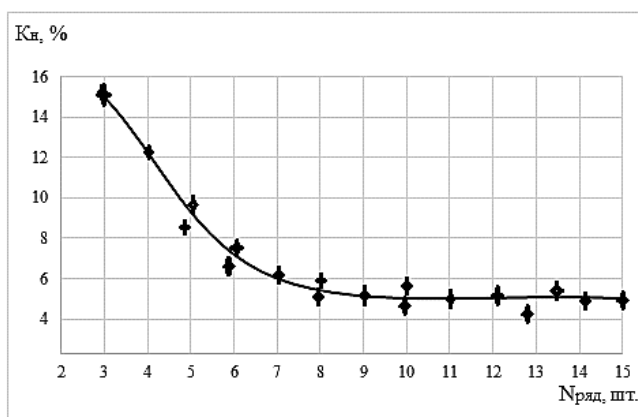


Рис. 4. Изменение выхода негабаритных кусков ( $K_n$ ) при многорядном взрывании блоков ( $N_{\text{ряд}}$ )

Fig. 4. Change in the yield of oversized pieces ( $K_n$ ) during multi-row blasting of blocks ( $N_{\text{row}}$ )

Горного института. 2019. Т. 239. С. 502–509. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.502.

5. Абдулкасимов А. М. Совершенствование качества взрывной подготовки горной массы на карьерах стройматериалов на основе оптимизации основных параметров БВР. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 21 с.

6. Копытов А. И., Еременко А. А. Методы и способы автоматического управления разрушением горных пород взрывом. Новосибирск : Наука, 2018. 208 с.

7. Ржевский В. В. Открытые горные работы, Ч. I, II. М. : Недра, 1985.

8. Клишин И. В. Исследование влияния схем распределения скважинных зарядов ВВ на степень дробления горных пород при разработке каменных карьеров по производству щебня // ГИАБ. 2012. № 9. С. 85–95.

9. Кутузов Б. Н. Взрывные работы. М. : Недра, 1980. 392 с.

10. Бахтин А. К., Харапьяк С. У., Шушаков А. М. [и др.] Совершенствование взрывных работ на Малеевском руднике // Горный журнал. 2000. № 4. С. 35–38.

11. Викторов С. Д., Иофис М. А., Гончаров С. А. Сдвигение и разрушение горных пород. М. : Наука, 2005. 277 с.

12. Одинцев В. Н., Закалинский В. М., Лапиков И. Н., Мингазов Р. Я. Моделирование направленности взрывного взаимодействия сближенных зарядов // Взрывное дело. 2022. № 136(93). С. 5–24.

13. Штумпф Г. Г., Рыжков Ю. А., Шаламанов В. А., Петров А. И. Физико-технические свойства горных пород и углей

Кузнецкого бассейна: Справочник. М. : Недра, 1994. 447 с.

14. Шер Е. Н., Александрова Н. И. Исследование влияния конструкции скважинного заряда на размер зоны разрушения и время ее развития в горных породах при взрыве // ФТПРПИ. 2007. № 4. С. 76–85.

15. Бронников Д. М. Выбор параметров взрывных скважин при подземной отбойке руд. М. : Госгортехиздат, 1961. 109 с.

16. Шер Е. Н. Оценка дробящего действия удлиненного заряда в хрупкой среде // ФТПРПИ. 1975. № 1. С. 88–91.

17. Пыталев И. А., Доможиров Д. В., Швабенланд Е. Е. [и др.] Обоснование области и опыт применения однорядного взрывания в условиях повышенных требований к качеству полезного ископаемого // Горная Промышленность. 2022. № 1. С. 110–115.

18. Виноградов Ю. И., Хохлов С. В., Зигангиров Р. Р., Мифтахов А. А., Суворов Ю. И. Оптимизация удельных энергозатрат на дробление горных пород взрывом на месторождениях со сложным геологическим строением // Записки Горного института. 2024. Т. 266. С. 231–245.

19. Дремин А. В., Великанов В. С. К вопросу о гранулометрическом составе взорванных скальных пород // Горная промышленность. 2023. № 4. С. 73–78. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-4-73-78.

20. Арипов А. Т., Меликулов А. Д., Умедов Ш. Х., Сагдиев Х. С., Меликулов У. А. Натурные экспериментально-геофизические замеры изменчивости характеристик сейсмозврывных волн на карьерах // Горные машины и технологии. 2023. № 4. С. 52–59.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Клишин Игорь Валентинович**, кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: [Klishin66@ya.ru](mailto:Klishin66@ya.ru)

Заявленный вклад авторов:

Клишин Игорь Валентинович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

## IMPROVEMENT OF EXPLOSIVE ROCK REMOVAL DURING THE EXTRACTION OF BUILDING MATERIALS AT THE NOVOSIBIRSK QUARRIES INDUSTRIAL AREA

Igor V. Klishin

Siberian State University of Water Transport

\* for correspondence: Klishin66@ya.ru

**Article info**

Received:

27 November 2025

Accepted for publication:

15 January 2026

Accepted:

12 February 2026

Published:

29 June 2026

**Keywords:** quarry, rock, crushed stone, charge, mass, explosive, deceleration intervals, arrangement patterns, charge detonation patterns, diameter

**Abstract.**

*The purpose of the work is to develop parameters for drilling and blasting operations in the extraction of construction materials in quarries. The research objectives include the development of combined schemes for the distribution and blasting of borehole charges of explosives in quarries for the extraction of construction materials. The research methods include the generalization of the mining and geological features of quarries for the extraction of construction materials, the generalization of research results using mathematical statistics and correlation analysis, and experimental and industrial testing. Experimental studies have been carried out on explosive rock removal during the extraction of building materials in quarries, where a significant part of the building materials are represented by granitoids, hornstones, siltstones, diabases, sandstones, etc. The height of the ledges on the spent parts of the quarries ranged from 10 to 15 m, the width of the working area of the mining ledge was 48 m. It has been revealed that changes in the conditions of mining due to the increasing complexity of mining and geological conditions, flooding, and an increase in the depth of mining operations in quarries require improvement of the parameters of drilling and blasting operations. It was found that when using combined schemes for the distribution of borehole explosive charges with diameters from 135 and 203 mm in five to ten or more rows across the width of the blocks, a reduction in the yield of oversized by 15-20% was achieved. It was determined that the detonation of explosive borehole charges with an arrangement of 4(5)-14 rows according to diagonal and wedge detonation schemes with deceleration intervals of 500-925 ms helps to reduce the yield of oversized material by 12-20%. A number of dependences of the change in the mass of explosive charges on the number of rows, the yield of the oversized on the diameter of the wells, as well as the number of rows of borehole explosive charges have been established. In addition, it was determined that the developed designs of explosive charges with air gaps should be used to reduce the yield of explosives.*

**For citation:** Klishin I.V. Improvement of explosive rock removal during the extraction of building materials at the Novosibirsk quarries industrial area. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 2(174):158-164. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-2-158-164, EDN: AFYHTC

## REFERENCES

1. Grishin A.N. Improving the technology of mass explosions at stone quarries of building materials. Author. diss. Candidate of Technology sciences. Novosibirsk: IHD SB RAS; 2008. 22 s.
2. Overchenko M.N., Tolstunov S.A., Moser S.P. The influence of mining and geological conditions and technogenic factors on the stability of explosive wells during the open development of apatite-nepheline ores. *Notes of the Mining Institute*. 2018; 231:239-244. DOI: 10.255515/PMI.2018.3.239.
3. Rubtsov S.K. Scientific and technical substantiation, development and implementation of methods for intensification and control of explosive destruction of rocks of different strength during open development of complex deposits. Autoref. diss. doc. tech. sciences. M.: OJSC VNIPIpromtekhologii; 2009. 45 s.
4. Pavlovich A.A., Korshunov V.A., Bazhukov A.A., Melnikov N.Ya. Assessment of the strength of the rock massif in open-pit mining. *Notes of the Mining Institute*. 2019; 239:502-509. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.502.

5. Abdulkasimov A.M. Improving the quality of explosive preparation of rock mass in quarries of building materials based on optimization of the main parameters of TRU. Auto ref. dis.... Candidate of Technology sciences. M., 2006. 21 pp.

6. Kopytov A.I., Eremenko A.A. Methods and methods of automatic control of rock destruction by explosion. Novosibirsk: Science; 2018. 208 s.

7. Rzhovsky V.V. Open pit mining, Part I, II. M.: Nedra; 1985.

8. Klishin I.V. Study of the effect of distribution schemes of borehole explosive charges on the degree of crushing of rocks during the development of stone quarries for the production of crushed stone. *GIAB*. 2012; 9:85-95.

9. Kutuzov B.N. Blasting. M.: Nedra; 1980. 392 p.

10. Bakhtin A.K., Harapyak S. U., Shushakov A.M. [et al.] Improvement of blasting operations at the Maleevsky mine. *Mining magazine*. 2000; 4:35-38.

11. Viktorov S.D., Iofis M.A., Goncharov S.A. Displacement and destruction of rocks. M.: Nauka; 2005. 277 p.

12. Odintsev V.N., Zakalinsky V.M., Lapikov I.N., Mingazov R.Ya. Modeling the direction of explosive interaction of close charges. *Explosive business*. 2022; 136(93):5-24.

13. Stumpf G.G., Ryzhkov Yu.A., Shalamanov V.A., Petrov A.I. Physical and technical properties of rocks and coals of the Kuznetsk basin: Reference. M.: Nedra; 1994. 447 p.

14. Sher E.N., Alexandrova N.I. Investigation of the effect of the borehole charge design on the size of the fracture zone and the time of its development in rocks during an explosion. *FTPRPI*. 2007; 4:76-85.

15. Bronnikov D.M. Selection of blast hole parameters during underground ore breaking. M.: Gosgortekhzizdate; 1961. 109 s.

16. Cher E.N. Evaluation of the crushing effect of an elongated charge in a brittle medium. *FTPRPI*. 1975; 1:88-91.

17. Pytalev I.A., Domozhirev D.V., Shvabenland E.E. [et al.] The justification of the field and the experience of using single-row blasting in conditions of increased demands on the quality of minerals. *Mining Industry*. 2022; 1:110-115.

18. Vinogradov Yu.I., Khokhlov S.V., Zigangirov R.R., Miftakhov A.A., Suvorov Yu.I. Optimization of specific energy costs for crushing rocks by explosion in fields with complex geological structure. *Notes of the Mining Institute*. 2024; 266:231-245.

19. Dremin A.V., Velikanov V.S. On the granulometric composition of blasted rocks. *Mining Industry Journal*. 2023; 4:73-78. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-4-73-78.

20. Aripov A.T., Melikulov A.D., Umedov Sh. Kh., Sagdiev Kh. S., Melikulov U.A. Field experimental and geophysical measurements of the variability of the characteristics of seismic explosive waves in quarries. *Mining machines and technologies*. 2023; 4:52-59.

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).  
The authors declare no conflict of interest.

*About the authors:*

**Igor V. Klishin**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Siberian State University of Water Transport, 33 Shchetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia, e-mail: Klishin66@ya.ru

*Contribution of the authors:*

Igor V. Klishin– formulation of a research problem, conceptualization of research, conclusions, writing a text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental research, processing and analysis of their results

*All authors have read and approved the final manuscript.*

