



Результаты полевых испытаний газогенерирующих составов на основе хлората натрия с твердыми горючими компонентами

М.А. Маринин¹, В.Н. Ковалевский¹, Н.Н. Сергиенко¹✉, Е. А. Крылов², В. К. Бруевич³

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ООО «Промстройвзрыв», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ ООО «Промсервис», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ forawsenn@mail.ru

Резюме: В статье приводятся сведения о результатах испытаний в производственных условиях двухкомпонентных смесей хлората натрия в качестве окислителя с твердыми горючими компонентами. Описаны методика расчёта процентного соотношения компонентов смеси на нулевой кислородный баланс и результаты проведённых экспериментов. В качестве критерия эффективности применения состава в производственных условиях для отбойки блочного камня или в целях дробления негабарита принят факт разрушения негабарита шпуровым зарядом, состоящим из заряда исследуемого состава с одной ниткой ДШЭ-6 вдоль всего заряда в качестве инициатора. Установлено, что применение смесей хлората натрия с твердыми горючими компонентами может найти промышленное применение как для целей отбойки блочного камня, так и для дробления негабаритных кусков породы. Дальнейшие исследования заключаются в количественной наработке проведённых экспериментов с целью изучения характеристик предложенных составов. Весьма перспективна возможность добавления третьего компонента к двухкомпонентным смесям в целях увеличения энергетических характеристик составов. Отдельный интерес представляет исследование предохранительных свойств исследуемых составов.

Ключевые слова: кислородный баланс, двухкомпонентные составы, газогенераторы, топливоокислительная смесь, элемент универсальный газогенерирующий, дробление негабарита, добыча блочного камня, взрывные работы

Благодарности: Автор Н.Н. Сергиенко выражает личную благодарность генеральному директору ООО «Промстройвзрыв» Тимофею Вячеславовичу Васильеву за согласование места и времени проведения экспериментов и старшему взрывнику компании ООО «Промстройвзрыв» Алексею Кимовичу Болтовскому за помощь в проведении экспериментальных исследований и передачу производственного опыта.

Для цитирования: Маринин М.А., Ковалевский В.Н., Сергиенко Н.Н., Крылов Е.А., Бруевич В.К. Результаты полевых испытаний газогенерирующих составов на основе хлората натрия с твердыми горючими компонентами. *Горная промышленность*. 2026;(4S):142–149. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-142-149>

Field tests results of sodium chlorate-based gas-generating compositions with solid combustible components

М.А. Marinin¹, V.N. Kovalevskiy¹, N.N. Sergienko¹✉, E.A. Krilov², V.K. Brusevich³

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Promstroyvzriv LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Promservis LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ forawsenn@mail.ru

Abstract: This article presents the results of field tests of two-component mixtures of sodium chlorate as an oxidizer with solid combustible components. A method for calculating percentage ratio of the mixture components for a zero oxygen balance and the field tests results are described. The fact of breaking an oversized rock by a blasthole charge consisting of the test composition with a single DShE-6 shock tube as a primer along the entire charge was used as a criterion to assess the performance of this composition in industrial applications of dimensional stone quarrying or in secondary breaking. It has been established that the use of sodium chlorate mixtures with solid combustible components can be commercially used both for dimensional stone quarrying and for secondary breaking. Further research into the proposed compositions involves increasing the number of field tests to be performed to assess their characteristics. Adding a third component to two-component mixtures to boost the energy performance of the compositions seems highly promising. The protecting properties of the investigated compositions are of a particular interest.



Keywords: oxygen balance, two-component mixtures, gas generators, fuel-oxidizer mixture, universal gas-generating element, secondary breaking, dimensional stone quarrying, blasting operations

Acknowledgements: Nikolay N. Sergienko expresses his personal gratitude as the author to Timofey V. Vasiliev, General Director of Promstroyvzryv LLC, for coordinating the place and time of the field tests, and to Aleksey K. Boltovskiy, Senior Blast Specialist of Promstroyvzryv LLC, for his assistance in executing the field tests and for sharing his industrial experience.

For citation: Marinin M.A., Kovalevskiy V.N., Sergienko N.N., Krilov E.A., Brusevich V.K. Field tests results of sodium chlorate-based gas-generating compositions with solid combustible components. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):142–149. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-142-149>

Введение

В настоящее время на предприятиях по добыче полезных ископаемых с применением технологии взрывного дробления горного массива наиболее широко применяются эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ), что обусловлено высокой степенью механизации процесса их заряжания [1; 2] и водоустойчивостью [3] и обеспечением высокой производительности труда рабочих. В силу своих преимуществ эмульсионные взрывчатые вещества фактически вытеснили другие виды взрывчатых веществ на открытых горных работах [4; 5] и активно вытесняют патронированные и гранулированные взрывчатые вещества на подземных разработках [6–8], где гранулометрический состав горной массы влияет на процесс выпуска руды [9–11].

При больших объёмах взрывных работ использование эмульсионных ВВ полностью целесообразно и технологически эффективно для технологий добычи полезных ископаемых методом скважинных зарядов [12; 13] с последующим механическим дроблением [14; 15] и имеет предпосылки к автоматизации процессов по аналогии с опытами с беспилотными автосамосвалами [16]. Когда требуется разрушение небольших объёмов массива, например для проведения траншей под инженерные коммуникации [17] или для нужд транспортной инфраструктуры [18], особенно в условиях близости охраняемых объектов к месту взрыва [19–21], применение эмульсионных ВВ может быть ограничено в силу их относительно большого критического диаметра [22; 23], необходимости мощного промежуточного детонатора [24; 25], высокой скорости детонации [26; 27], что создаёт условия для опасного сейсмического воздействия [28–30] и требует предварительного прогноза для предотвращения опасных последствий взрыва [31].

Ещё одной областью работ, в которой применение эмульсионных ВВ ограничено, является добыча блоков природного камня [32], где важно создать трещину в массиве с минимальным воздействием на него для сохранности минерального сырья [33–35]. Для этих целей применяются низкоэнергетические ВВ, иногда называемые топливоокислительными смесями [36], в качестве которых раньше широко применялся дымный взрывной порох, однако в силу его опасности при обращении и технологической сложности заряжания был вытеснен другими ВВ и зарядами специальных конструкций, среди которых шланговые заряды ЗША-14 и ЗША-25, заряды мягкого взрывания ЗМВ-6, ЗМВ-10, заряды эластичные трубчатые «Гранилен» ЗЭТ-11, ЗЭТ-15, ЗЭТ-17, заряды «Энамат», газогенераторы хлоратные патронированные, элементы универсальные газогенерирующие. Зарубежные аналоги зарядов специ-

альных конструкций – К-трубчатые заряды фирмы «Форсит», заряды «Гурит» фирмы «Нитронобель». Перечисленные заряды разрабатывались изначально для применения в целях добычи блочного камня, что на данный момент делает их применение в этой сфере наиболее целесообразным и эффективным.

Материалы и методы

Заряды элементов универсальные газогенерирующие (ТУ 20.51.11-001-27287946-2018) представляют собой полиэтиленовый корпус внешним диаметром 25 мм длиной около 300 мм с хлоратом натрия внутри, который пропитывается дизельным топливом не менее чем за сутки до применения, что требует дополнительной технологической операции и времени непосредственно на участке производства взрывных работ. В рамках проведённого эксперимента была произведена замена жидкого горючего на твёрдые горючие компоненты и проверка эффективности полученных составов в производственных условиях. Некоторые сведения о таких составах с добавкой нитросоединений содержатся в трудах И.Ф. Блинова [37].

При расчёте рецептур топливоокислительных смесей на нулевой кислородный баланс [38; 39] использовался метод Г.А. Авакяна. Зная кислородный баланс каждого компонента смеси, вычисление массового содержания каждого из компонентов в смеси можно производить путём решения следующего уравнения:

$$x \cdot \text{КБ}[1] + (100-x) \cdot \text{КБ}[2] = 0, \quad (1)$$

где x – содержание первого компонента, %; $100-x$ – содержание второго компонента, %; $\text{КБ}[1]$ – кислородный баланс первого компонента смеси, доли ед.; $\text{КБ}[2]$ – кислородный баланс второго компонента смеси, доли ед.

Для расчёта трёхкомпонентных составов на нулевой кислородный баланс один из компонентов принимается «главным». Расчёт процентного содержания компонентов ведётся для двух составов «главного» компонента с каждым другим отдельно. Второй шаг – сложение массовых долей каждого из компонентов в первом и втором составах. Третьим шагом полученные массовые доли делятся / на 2 (условное количество составов). Полученные массовые доли будут соответствовать массовым долям компонентов трёхкомпонентной смеси с нулевым кислородным балансом.

В качестве альтернативного горючего дизельному топливу для экспериментальных исследований составов были выбраны следующие твёрдые компоненты: сахар, сахарная пудра, глюкоза, крахмал картофельный, крахмал



Таблица 1
Результаты расчёта
и определения массы
полученных составов

Table 1
Results of calculating and
determining the weight
of the obtained compositions

Состав	Процентное соотношение компонентов	Масса в патроне, г
ХН*+сахар	71/29	153,22
ХН+сахарная пудра	71/29	160,42
ХН+глюкоза	70/30	135,52
ХН+крахмал картофельный	72,5/25,5	155,72
ХН+крахмал кукурузный	72,5/25,5	129,51
ХН+мука злаковая	75/25	157,49
ХН+мука древесная	75,5/24,5	108,82
ХН+мука древесная	90/10	131,12
ХН+уротропин	82/18	160,71
ХН+сера	69/31	169,62
ХН+парафин	88,5/11,5	149,18
ХН+стеариновая кислота	87/13	156,62
ХН+пентаэритрит	76/24	150,77
ХН +сахар+алюминий**	70/25/5	158,18
ХН+сах.пудра+алюминий**	70/25/5	157,27

Примечание: * ХН – хлорат натрия; ** Заявка на патент №2026117915: заявл. 09.06.2026

Note: * ХН –sodium chlorate; ** Patent application No. 2026117915: filed on June 9, 2026

кукурузный, мука злаковая, мука древесная, уротропин, парафин, стеариновая кислота, пентаэритрит. Для проведения эксперимента были изготовлены двухкомпонентные составы с вышеперечисленными твёрдыми горючими и два состава с добавлением энергетической добавки – порошка алюминия. Суммарная масса заряда снижалась по сравнению со стандартной для данных зарядов, так как плотность твёрдых горючих меньше, чем у хлората натрия. Изготовленные составы помещались в штатный корпус без прессования. Расчёт процентного соотношения компонентов осуществлялся путём решения уравнения (1) с учётом кислородного баланса хлората натрия, принятого равным + 45% на основании справочных данных. Результаты расчёта процентного содержания компонентов составов и определения их массы в патроне представлены в табл. 1.

Каждый из изготовленных составов подлежал испытанию на чувствительность к воспламенению на открытом воздухе и на эффективность применения при инициировании заряда в шпуре диаметром 32 мм длиной от 0,8 до 1,5 м от нитки ДШЭ-6. Шпуры были пробурены в негабаритных кусках породы габбродиабазы с пределом прочности на одноосное сжатие в сухом состоянии 205 МПа, в водонасыщенном – 182 МПа.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что все составы, за исключением состава с серой, более чувствительны к воспламенению и горят интенсивнее, чем состав с дизельным топливом. При сгорании составов на открытом воздухе остаётся белый твёрдый остаток. С помощью химического анализа на спектрокане МАКС-GVM было установлено, что остаток является хлоридом натрия NaCl, традиционно используемого в предохранительных взрывчатых веществах в качестве соли-пламегасителя [40].

Таблица 2
Результаты испытаний
составов в шпуре

Table 2
Results of downhole testing
the compositions

Состав, процентное содержание компонентов	Масса в патроне, г	Результаты испытаний в шпуре
ХН+сахар, 71/29	153,22	Раскола не произошло
ХН+глюкоза, 70/30	135,52	Раскола не произошло. Из шпуры виден небольшой форс пламени, вылетели частички корпуса патрона
ХН+крахмал картофельный, 72,5/25,5	155,72	Раскола не произошло. Видно догорание смеси в шпуре, вылетели небольшие части оболочки патрона
ХН+мука злаковая, 75/25	157,49	Раскола не произошло. Видно догорание смеси в шпуре, вылетели небольшие части патрона
ХН+мука древесная, 90/10	131,12	Раскола не произошло
ХН+уротропин, 82/18	160,71	Произошёл раскол без разлёта кусков породы
ХН+парафин, 88,5/11,5	149,18	Раскола не произошло. Вылетела большая полоска оболочки патрона
ХН+стеариновая кислота, 87/13	156,62	Раскола не произошло
ХН +сахар+алюминий, 70/25/5	158,18	Произошёл раскол без разлёта кусков породы
ХН+сах. пудра+алюминий, 70/25/5	157,27	В шпуре длиной 0,5 м раскола не произошло. Виден форс пламени из шпуры, вылетели горящие частицы
ХН+сахарная пудра, 71/29	160,42	Не испытан
ХН+крахмал кукурузный, 72,5/25,5	129,51	Не испытан
ХН+мука древесная, 75,5/24,5	108,82	Не испытан
ХН+сера, 69/31	169,62	Не испытан
ХН+пентаэритрит, 76/24	150,77	Не испытан

Результаты испытаний шпуровых зарядов в негабаритных кусках горной породы представлены в табл. 2.

Раскол негабаритного куска породы был достигнут только при применении двух из испытанных составов: состава с уротропином в качестве горючего и состава с сахаром в качестве горючего с добавкой алюминия. Поверхность откола негабаритов ровная, раскол произошёл без разлёта кусков горной массы. У негабаритного куска породы, расколотого составом с добавкой алюминия, наблюдался термический след (пожог), обусловленный высокой температурой продуктов взрыва (рис. 1).



Рис. 1
Негабарит, расколотый
составом с добавкой алюминия



Fig. 1
An oversized rock split open
using a composition with
aluminum additive

Результаты испытаний показали, что:

- более высокая скорость горения составов с сухими горючими компонентами объясняется более низкой чувствительностью дизельного топлива к воспламенению от луча огня, что замедляет реакцию горения «эталонного» состава;
- выделение хлорида натрия при сгорании составов с твёрдыми горючими компонентами позволяет сделать предположение о наличии у смесей хлората натрия с твёрдыми горючими компонентами предохранительных свойств;
- составы, при инициировании которых не произошло раскола негабаритного куска породы, обеспечивают более мягкое нагружение массива по сравнению с теми, которые произвели раскол. Для достижения разрушения с применением таких составов необходимо увеличивать массу заряда;
- составы, при инициировании которых произошёл раскол, обладают энергией, достаточной для раскола, но недостаточной для проявления выраженного бризантного действия, о чём свидетельствует ровная поверхность откола и наличие следа шпура по всей длине;
- термический след (пожог) при использовании состава с добавкой алюминия обусловлен повышенным разогревом продуктов взрыва за счёт высокого теплового эффекта реакции образования оксида алюминия.

Предложение дальнейших исследований

Большой интерес представляет изучение смесей с твёрдыми горючими компонентами на предмет наличия предохранительных свойств, в случае подтверждения которых будет возможно исследование параметров буровзрывных работ для этих составов в подземных условиях [41; 42].

Для дополнения уже проведённых исследований планируется провести испытания на чувствительность к точечному инициатору (детонатору) в шпуре или стальной трубе и измерение скорости взрывчатого разложения (взрывного горения) составов, испытания для определения других характеристик описанных составов, меняющих свои свойства в широких пределах [43; 44], что косвенно подтверждается различными результатами после инициирования составов в шпуре.

Заключение

Несмотря на доминирование ЭВВ в промышленности, заряды низкоэнергетических смесей и заряды специальных конструкций имеют свою сферу применения. При подтверждении предохранительных свойств таких составов открывается новая область их исследования и применения.

Топливоокислительные смеси на основе хлората натрия с твёрдыми и жидкими горючими компонентами могут эффективно применяться как для добычи блочного камня буровзрывным способом, обеспечивая высокую производительность карьера по сравнению с механическими способами добычи блоков, так и для его пассивировки, а также для дробления негабаритных кусков породы и работы в условиях близости охраняемых объектов к месту производства работ.

Более детальное изучение свойств описанных составов будет способствовать решению задач по созданию расчётной методики параметров буровзрывных работ для направленного разрушения горных пород с максимальной безопасностью и минимальным воздействием на массив, что выражается в снижении радиуса разлёта кусков горной массы при дроблении негабарита, сейсмического воздействия на охраняемые объекты при проведении взрывных работ на стройплощадках, степени нарушения массива при добыче природного камня.

Список литературы / References

1. Лопатин Д.Н., Волков А.В. Опыт механизации взрывных работ для подземных горных выработок. *Проблемы недропользования*. 2022;(3):128–135. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2022.03.128>
Lopatin D.N., Volkov A.V. Experience in mechanization of blasting operations for underground mining. *Problems of Subsoil Use*. 2022;(3):128–135. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2022.03.128>
2. Ляшенко В.И., Небогин В.З., Шкарин В.В. Повышение экологической безопасности производства взрывных работ с помощью эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах Украины. *Безопасность труда в промышленности*. 2015;(4):38–44.
Lyashenko V.I., Nebogin V.Z., Shkarin V.V. Increase of ecological safety of explosive works execution by means of emulsive explosives at the open-pit mines of the Ukraine. *Occupational Safety in Industry*. 2015;(4):38–44. (In Russ.)



3. Булушев Д.А., Султанов Е.В., Акинин Н.И., Смирнов С.П. Определение водоустойчивости аммиачно-селитренных промышленных взрывчатых веществ. *Химическая промышленность сегодня*. 2024;(1):41–50.
Bulushev D.A., Sultanov E.V., Akinin N.I., Smirnov S.P. Water-resistance determination of ammonium nitrate industrial explosives. *Chemical Industry Developments*. 2024;(1):41–50. (In Russ.)
4. Петров Е.А. Развитие производства промышленных ВВ в зависимости от условий геотехнологии их применения. *Взрывное дело*. 2026;(150-107):86–106.
Petrov E.A. Development of industrial explosives production depending on the geotechnological conditions of their application. *Explosion Technology*. 2026;(150-107):86–106. (In Russ.)
5. Кузнецова О.В., Левашов П.Ю. Оптимизация затрат на обеспечение горнодобывающего предприятия взрывчатыми веществами за счет внедрения собственного производства эмульсионных взрывчатых веществ. *Экономическое развитие региона: управление, инновации, подготовка кадров*. 2025;(12):124–128.
Kuznetsova O.V., Levashov P.Y. Optimizing costs for a mining enterprise's explosives supply through the implementation of in-house production of emulsion explosives. *Ekonomicheskoe Razvitie Regiona: Upravlenie, Innovatsii, Podgotovka Kadrov*. 2025;(12):124–128. (In Russ.)
6. Туртыгина Н.А., Батралиев Р.Ш., Охрименко А.В., Рыженков К.А. Современный опыт технологического развития буровзрывных работ при добыче медно-никелевых руд. *Взрывное дело*. 2026;(150-107):39–62.
Turtygina N.A., Batraliev R.Sh., Okhrimenko A.V., Ryzhenkov K.A. Modern experience in the technological development of drilling and blasting operations in the extraction of copper-nickel ores. *Explosion Technology*. 2026;(150-107):39–62. (In Russ.)
7. Ляшенко В.И., Голик В.И., Комащенко В.И., Небогин В.З. Повышение эффективности производства взрывных работ с помощью эмульсионных взрывчатых веществ на шахтах. *Взрывное дело*. 2018;(119-76):143–163.
Lyashenko V.I., Golik V.I., Tomashenko, V.I., Nebogin V.Z. The higher production efficiency of blasting using emulsion explosives in the mines. *Explosion Technology*. 2018;(119-76):143–163. (In Russ.)
8. Уваров И.И., Лозицкий В.А., Бочкарев В.Г., Корецкий А.С. Применение эмульсионных взрывчатых веществ на открытых и подземных горных работах рудника «Заполярный». *Горный журнал*. 2022;(8):6–11. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.08.04>
Umarov F.Ya., Nasirov U.F., Nutfulloev G.S., Gaibnazarov B.A. Experimental research of shaped charges with electrohydraulic effect with a view to improving blasting safety and efficiency. *Gornyi Zhurnal*. 2022;(8):6–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.08.04>
9. Господариков А.П., Кириленко В.И., Мильков А.С., Шиленко С.Ю. Определение параметров модели руд и горных пород рудника «Заполярный» для дискретного моделирования процесса выпуска руды под обрушенными породами. *Горный журнал*. 2025;(9):13–19. <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.09.02>
Gospodarikov A.P., Kirilenko V.I., Milkov A.S., Shilenko S.Yu. Model parameters of ore and rock mass in Zapolyarny Mine for discrete modeling of ore drawing under caved rocks. *Gornyi Zhurnal*. 2025;(9):13–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.09.02>
10. Господариков А.П., Ковалевский В.Н., Румянцев А.Е., Кириленко В.И. Адаптация модели прогнозирования гранулометрического состава Кузнецова – Раммлера для условий подземных горных работ. *Горный журнал*. 2026;(2):72–79. <https://doi.org/10.17580/gzh.2026.02.09>
Gospodarikov A.P., Kovalevskiy V.N., Rumyantsev A.E., Kirilenko V.I. Adapting the Kuz–Ram fragmentation model to underground mining. *Gornyi Zhurnal*. 2026;(2):72–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2026.02.09>
11. Холодильов А.Н., Кириленко В.И., Шевченко П.Р., Самосенко И.В. Изменение коэффициента запаса устойчивости физической модели системы разработки с учетом расположения и параметров глинистых пропластков. *Горный журнал*. 2025;(6):81–86. <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.06.12>
Kholodilov A.N., Kirilenko V.I., Shevchenko P.R., Samosenko I.V. Change in stability factor of physical model of mining system with regard to location and parameters of clayey interbeds. *Gornyi Zhurnal*. 2025;(6):81–86. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.06.12>
12. Ишейский В.А., Рядинский Д.Э., Магомедов Г.С. Расчет линии наименьшего сопротивления по первому ряду скважин при взрывании сложноструктурных массивов на основе учета радиусов зон трещинообразования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(3):64–79. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_3_0_64
Isheisky V.A., Ryadinskii D.E., Magomedov G.S. Calculation of burden by the first row of blastholes in complex-structure rock mass blasting with regard to cracked zone radii. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(3):64–79. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_3_0_64
13. Ишейский В.А., Рядинский Д.Э., Магомедов Г.С. Повышение качества дробления горных пород взрывом за счет учета структурных особенностей взрываемого массива. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(9-1):79–95. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_79
Isheisky V.A., Ryadinskii D.E., Magomedov G.S. Increasing the quality of fragmentation of blasting rock mass based on accounting for structural features of massif in the blast design. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9-1):79–95. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_79
14. Якубовский М.М., Гетманова А.Р., Кузина А.В. Проблемы добычи строительных материалов и возможности их решения. Устойчивое развитие горных территорий. 2024;16(4):1706–1716. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1706-1716>
Yakubovskiy M.M., Getmanova A.R., Kuzina A.V. Problems of extraction of building materials and the possibilities of their solution. Sustainable Development of Mountain Territories. (In Russ.) 2024;16(4):1706–1716. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1706-1716>



15. Виноградов Ю.И., Хохлов С.В., Зигангиров Р.Р. Энергетическая концепция расчета массы скважинного заряда на карьерах при изменчивости физико-механических свойств горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(6):50–68. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_6_0_50
Vinogradov Yu.I., Khokhlov S.V., Zigangirov R.R. Energy-based concept for calculating explosive weight in open pit mining given variable physical and mechanical properties of rocks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(6):50–68. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_6_0_50
16. Лиготский Д.Н., Долгушин Н.А. Анализ опыта применения безлюдных технологий при открытой разработке месторождений и перспективы их развития. *Горный журнал*. 2025;(2):42–47. <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.02.06>
Ligotsky D.N., Dolgushin N.A. Analysis of experience in the use of unmanned technologies in open pit mining and prospects for their development. *Gornyi Zhurnal*. 2025;(2):42–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2025.02.06>
17. Крапивина И.С. Методика определения рациональных параметров буровзрывных работ при проведении траншей. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2015;(1):102–108.
Krapivina I.S. Method of determining rational parameters of blasting during trenches works. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2015;(1):102–108. (In Russ.)
18. Сабельников С.Н., Федоров А.Ю. Производство земляных работ взрывным способом. *Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-Западного федерального округа России*. 2019;(1):117–122.
Sabelnikov S.N., Fedorov A.Yu. Excavation using blasting methods. *Regionalnye Aspekty Upravleniya, Ekonomiki i Prava Severo-Zapadnogo Federalnogo Okruga Rossii*. 2019;(1):117–122. (In Russ.)
19. Ren K., Jiang A., Guo X., Min Q. Research on optimization design of tunnel blasting scheme adjacent to buildings. *Applied Sciences*. 2023;13(20):11509. <https://doi.org/10.3390/app132011509>
20. Zhang S., Zhang Z., Wang K., He D., Huang Y. Research on the impact of blasting vibration in mining areas on surrounding railway structures. *Applied Sciences*. 2025;15(9):4624. <https://doi.org/10.3390/app15094624>
21. 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. Design concepts for explosion products locking in chamber. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9-1):122–134. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_122
22. Меньшиков П.В., Жариков С.Н., Кутуев В.А. Исследование детонационных характеристик эВВ порэммит 1А. *Проблемы недропользования*. 2020;(4):32–41. Режим доступа: <https://trud.igdur.ru/index.php/psu/article/view/304> (дата обращения: 17.04.2026).
Menshikov P.V., Zharikov S.N., Kutuev V.A. Research of detonation parameters of emulsion explosives poremit 1A. *Problems of Subsoil Use*. 2020;(4):32–41. (In Russ.) Available at: <https://trud.igdur.ru/index.php/psu/article/view/304> (accessed: 17.04.2026).
23. Шеменев В.Г., Жариков С.Н., Меньшиков П.В., Синицын В.А. Взаимосвязь между детонационными характеристиками эмульсионного взрывчатого вещества нитронит. *Проблемы недропользования*. 2016;(2):112–116. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.02.112>
Shemenев V.G., Zharikov S.N., Menshikov P.V., Sinitsyn V.A. The relationship between detonation characteristics of nitronit emulsion explosive. *Problems of Subsoil Use*. 2016;(2):112–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.02.112>
24. Галимьянов Ал.А., Рудницкий К.А., Гильденбрант К.В., Корнеева С.И., Казарина Е.Н., Мишнев В.И. Влияние параметров промежуточного детонатора на скорость детонации смесевых взрывчатых веществ. *Горная промышленность*. 2023;(3):130–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-130-133>
Galimyanov Al.A., Rudnitsky K.A., Gildenbrant K.V., Korneeva S.I., Kazarina E.N., Mishnev V.I. Impact of booster characteristics on the detonation velocity of composite explosives. *Russian Mining Industry*. 2023;(3):130–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-130-133>
25. Добрынин И.А. Результаты измерения скорости детонации в скважинных зарядах в условиях горных предприятий. *Безопасность труда в промышленности*. 2008;(6):42–46.
Dobrynin I.A. The results of measuring the detonation rate in borehole charges in the conditions of mining enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2008;(6):42–46. (In Russ.)
26. Юношев А.С., Пластинин А.В., Рафейчик С.И. Скорость детонации эмульсионного взрывчатого вещества, сенсibilизированного полимерными микробаллонами. *Физика горения и взрыва*. 2017;53(6):132–137. <https://doi.org/10.15372/FGV20170616>
Yunoshev A.S., Plastinin A.V., Rafeichik S.I. Detonation velocity of an emulsion explosive sensitized with polymer microballoons. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2017;53(6):738–743. <https://doi.org/10.1134/S0010508217060168>
27. Хохлов С.В., Виноградов Ю.И., Маккоев В.А., Абиев З.А. Влияние скорости детонации взрывчатых веществ на степень предразрушения горной породы при взрыве. *Горные науки и технологии*. 2024;9(2):85–96. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-11-177>
Khokhlov S.V., Vinogradov Yu.I., Makkoiev V.A., Abiyev Z.A. Effect of explosive detonation velocity on the degree of rock prefracturing during blasting. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(2):85–96. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-11-177>



28. 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>
Afanasev P.I., Belov A.A. Assessment of the seismic-blast effects on the marginal rock mass due to the amplitude-frequency characteristics of the blast. *Russian Mining Industry*. 2025;(3):138–145. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-138-145>
29. Холодильов А.Н., Господариков А.П., Еременко А.А. Методические основы классификации взрывов по уровню их сейсмического действия. *Горный журнал*. 2021;(5):98–102. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.13>
Kholodilov A.N., Gospodarikov A.P., Eremenko A.A. Procedural framework for explosion classification by the seismic load criterion. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(5):98–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.13>
30. Deng Z., Meng J., Deng Y., Ni J., Ye D. Analysis of vibration signals near ground surface during blasting excavation of a tunnel in fractured rock. *Scientific Reports*. 2024;14:21099. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73089-1>
31. Афанасьев П.И., Ахметов А.Р., Фадеев А.А., Шмонин И.В. Прогнозирование сейсмического воздействия от промышленных взрывов с учетом энергетических характеристик взрывчатых веществ в условиях Кедровского угольного разреза. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(2-1):5–18. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_5-18.pdf (дата обращения: 28.04.2026).
Afanasev P.I., Akhmetov A.R., Fadeev A.A., Shmonin I.V. A seismic impact forecasting methodology for production blasts at the Kedrovsky coal mine based on explosives energy properties. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(2-1):5–18. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_5-18.pdf (accessed: 28.04.2026).
32. Першин Г.Д., Уляков М.С. Повышение эффективности разработки месторождений блочного высокопрочного камня. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2014;(7):10–18.
Pershin G.D., Ulyakov M.S. Improving the development efficiency of fields of high-strength block stone. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2014;(7):10–18. (In Russ.)
33. Prastowo R., Purnomo H., Firmansyah F., Ipmanawan V.L. Artificial neural network evaluation and prediction of blast-induced peak particle velocity – a case study of limestone mining. *Indonesian Mining Journal*. 2024;27(1):1–9. Available at: <https://jurnal.tekmira.esdm.go.id/index.php/imj/article/view/1531> (accessed: 28.04.2026).
34. Дамбаев Ж.Г. Математическое моделирование взаимодействия волн напряжений при взрыве системы зарядов, расположенных в ряд. *Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика*. 2014;(1):60–66.
Dambaev Zh.G. Mathematical modeling of voltages waves interaction at explosion of charges system arranged in a row. *BSU Bulletin. Mathematics, Informatics*. 2014;(1):60–66. (In Russ.)
35. Павлов И.В., Ирканаева А.А. Неразрушающий контроль качества блоков из природного камня. *В мире неразрушающего контроля*. 2014;(1):53–56.
Pavlov I.V., Irkanaeva A.A. Nondestructive quality testing of natural stone blocks. *NDT World*. 2014;(1):53–56. (In Russ.)
36. Бычков Г.В., Кокунина Л.В., Казаков С.В. Буровзрывной способ добычи монолитов и блоков природного камня. *Горный журнал*. 2008;(1):45–49. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/725/article/9831/> (дата обращения: 28.04.2026).
Bychkov G.V., Kokunina L.V., Kazakov S.V. Drilling and blasting method of mining of monoliths and natural stone blocks. *Gornyi Zhurnal*. 2008;(1):45–49. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/725/article/9831/> (accessed: 28.04.2026).
37. Блинов И.Ф. *Хлоратные и перхлоратные взрывчатые вещества*. М.: Оборонгиз; 1941. 104 с. Режим доступа: <https://djuv.online/file/BG1NNm17eetG7> (дата обращения: 28.04.2026).
38. Мишин Ю.М., Строгий И.Б., Викторов С.Д., Шляпин А.В. Расчетный метод определения доз смесевых взрывчатых веществ. *Взрывное дело*. 2018;(119-76):78–89.
Mishin Y.M., Strogij I.B., Victorov S.D., Shlyapin A.V. The calculated method of determining the dosage of mixed explosives. *Explosion Technology*. 2018;(119-76):78–89. (In Russ.)
39. Твердая О.Я., Петренко О.В., Ткачук К.К. Влияние состава взрывчатых веществ на выход вредных газов при взрывных работах на карьерах. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2018;(3-7):39–44.
Tverda O., Petrenko O., Tkachuk K. Influence of explosive composition on the quantities of harmful gases during the blasting in open pits. *Aktualnye Nauchnye Issledovaniya v Sovremennom Mire*. 2018;(3-7):39–44. (In Russ.)
40. Shtashkevych T., Galiakberova F., Mangos Yu. Influence of the content of inert additives on the preventive properties of explosives. *Naukovi Pratsi Donetskogo Natsionalnogo Tekhnichnogo Universitetu. Seriya: Khimiya i Khimichna Tekhnologiya*. 2009;(13):151–156.
41. Масаев Ю.А., Доманов В.П., Кузнецова К.В. Создание новых предохранительных ВВ – основа безопасности взрывных работ. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2006;(5):33–34. Режим доступа: <https://journals.kuzstu.ru/article/900.pdf> (дата обращения: 28.04.2026).
Masaev Yu.A., Domanov V.P., Kuznetsova K.V. Development of new safety explosives as a basis for blasting safety. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2006;(5):33–34. (In Russ.) Available at: <https://journals.kuzstu.ru/article/900.pdf> (accessed: 28.04.2026).



42. Дочилов Н.Е., Певченко Б.В., Петров Е.А., Питеркин Р.Н., Хворов А.И. Высокопредохранительные промышленные взрывчатые вещества. *Взрывное дело*. 2023;(140-97):195–212. <https://doi.org/10.18698/0372-7009-2023-9-16>
Dochilov N.E., Pevchenko B.V., Petrov E.A., Piterkin R.N., Khvorov A.I. High safety industrial explosives. *Explosion Technology*. 2023;(140-97):195–212. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/0372-7009-2023-9-16>
43. Махов М.Н. Метательная способность алюминийсодержащих взрывчатых композиций. *Химическая физика*. 2018;37(4):51–58.
Makhov M.N. Ability to accelerate of aluminum-containing explosive compositions. *Advances in Chemical Physics*. 2018;37(4):51–58. (In Russ.)
44. Махов М.Н. Метательная способность смесей взрывчатых веществ с положительным и отрицательным кислородным балансом. *Химическая физика*. 2024;43(8):62–69. Режим доступа: <https://chemphysras.ru/10-31857-s0207401x24080076-1/> (дата обращения: 28.04.2026).
Makhov M.N. Acceleration ability of the mixtures of explosives with positive and negative oxygen balance. *Advances in Chemical Physics*. 2024;43(8):62–69. (In Russ.) Available at: <https://chemphysras.ru/10-31857-s0207401x24080076-1/> (accessed: 28.04.2026).

Информация об авторах

Маринин Михаил Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры взрывного дела, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-5575-9343>; e-mail: marinin_ma@pers.spmi.ru

Ковалевский Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры взрывного дела, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7155-2000>; e-mail: kovalevskiy@spmi.ru

Сергиенко Николай Николаевич – аспирант кафедры взрывного дела, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0007-6509-4297>; e-mail: forawsenn@mail.ru

Крылов Евгений Александрович – начальник производственного участка, ООО «Промстройвзрыв», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: vedma.81@mail.ru

Брусевич Владимир Климентьевич – генеральный директор, ООО «Промсервис», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: bvk@psv.spb.ru

Information about the authors

Mikhail A. Marinin – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor of Blasting Department, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-5575-9343>; e-mail: marinin_ma@pers.spmi.ru

Vladimir N. Kovalevskiy – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor of Blasting Department, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7155-2000>; e-mail: kovalevskiy@spmi.ru

Nikolay N. Sergienko – Postgraduate Student of Blasting Department, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0007-6509-4297>; e-mail: forawsenn@mail.ru

Evgeny A. Krilov – Head of Production Site, Promstroyvzriv LLC, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: vedma.81@mail.ru

Vladimir K. Brusevich – General Manager, Promservis LLC, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: bvk@psv.spb.ru

Article info

Received: 09.06.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 17.08.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 09.06.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 17.08.2026