ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 622.235
https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-50-55

ORIGINAL ARTICLE
UDC 622.235

Метод формирования скважинного заряда патронированным эмульсионным взрывчатым веществом в обводненных скважинах на карьерах строительных материалов Приморского края

А. Р. Тухбатулин[1]✉, Ю. А. Васянович[1], П. С. Таран[2]
[1]Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего образования «Владивостокский государственный университет», г. Владивосток, Российская Федерация
[2]ООО «Якутская взрывная компания», г. Спасск-Дальний, Российская Федерация
✉ *zx365@yandex.ru*

Резюме. Рассматривается проблема заряжания обводненных скважин патронированными эмульсионными взрывчатыми веществами в условиях, когда применение смесительно-зарядных машин невозможно или экономически нецелесообразно. Традиционный ручной метод заряжания часто приводит к нарушению целостности колонки заряда, образованию водяных прослоек, застреванию патронов. Для решения этих проблем предложено новое устройство для формирования колонки заряда. Метод позволяет контролируемо опускать патрон в скважину, избегая гидроудара при переходе из воздушной среды в водную, предотвращает застревание патрона и образование водяных прослоек. Разработанное техническое решение рекомендуется для промышленного применения на открытых горных работах в сложных гидрогеологических условиях. Также обозначены направления дальнейших исследований: оценка эффективности на скважинах других диаметров, измерения скорости детонации и анализ выхода негабарита.

Ключевые слова: открытые горные работы, буровзрывные работы, обводненные скважины, патронированные эмульсионные взрывчатые вещества, ручное заряжание, устройство для формирования заряда, целостность колонки заряда

Для цитирования: Тухбатулин А.Р., Васянович Ю.А., Таран П.С. Метод формирования скважинного заряда патронированным эмульсионным взрывчатым веществом в обводненных скважинах на карьерах строительных материалов Приморского края. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (5): 50-55. https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-50-55.

Method of forming a borehole charge with cartridged emulsion explosive in flooded boreholes at construction material quarries in Primorsky krai

A. R. Tukhbatulin[1]✉, Yu. A. Vasyanovich[1], P. S. Taran[2]
[1]Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Vladivostok State University", Vladivostok, Russian Federation
[2]Yakutskaya Vzryvnaya Kompaniya LLC (Yakut Explosive Company), Spassk-Dalny, Russian Federation
✉ *zx365@yandex.ru*

Abstract. The article addresses the problem of charging water-filled boreholes with cartridged emulsion explosives in conditions where the use of mixing-charging machines is impossible or economically impractical. The traditional manual charging method often leads to disruption of the charge column integrity, formation of water interlayers, and sticking of cartridges. To solve these problems, a new device for forming the charge column is proposed. The method allows controlled lowering of the cartridge into the borehole, avoiding water hammer during the transition from the air environment to the water environment, and prevents sticking and the formation of water interlayers. The developed technical solution is recommended for industrial application in open-pit mining operations under complex hydrogeological conditions. The article also outlines directions for further research: evaluating effectiveness in boreholes of other diameters, increasing the sample size, direct measurements of detonation velocity, and analysis of oversized fragment yield.

Keywords: open-pit mining, drilling and blasting operations; water-filled boreholes; cartridged emulsion explosives; manual charging; charge forming device; charge column integrity

© Тухбатулин А. Р., Васянович Ю. А., Таран П. С., 2026

For citation: Tukhbatuli A.R., Vasyanovich Yu.A., Taran P.S. Method of forming a borehole charge with cartridged emulsion explosive in flooded boreholes at construction material quarries in Primorsky krai. *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2026; 26 (5): 50-55. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-50-55.

Введение

Буровзрывные работы на открытых горных работах остаются ключевым технологическим процессом, определяющим эффективность и экономику всего производственного цикла. Особую сложность представляет проведение взрывных работ в обводненных условиях, когда скважины заполнены водой. Традиционное использование гидрофобных, водоустойчивых эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), заряжаемых с помощью смесительно-зарядных машин (СЗМ), является наиболее распространенным и эффективным решением для таких условий [1–4]. Однако на практике встречается множество случаев, когда применение СЗМ технологически невозможно или экономически нецелесообразно: при разовых работах на удаленных или небольших месторождениях, в стесненных условиях карьеров сложной конфигурации, при ограниченном объеме взрывных работ, а также в случаях логистических ограничений на доставку спецтехники и компонентов ВВ.

Современная взрывная технология на карьерах Приморского края базируется на применении двух типов взрывчатых веществ, выбор которых диктуется состоянием обводненности скважин. В сухих скважинах применяются составы на основе «Гранулита ПС». В обводненных скважинах используются водоустойчивые ВВ: «Сипекс» и «Гранит-90П».

Их ключевые характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Характеристики применяемых взрывчатых веществ в Приморском крае / Characteristics of explosives used in Primorsky Krai

Наименование взрывчатых веществ	Кислородный баланс, %	Удельная теплота взрыва, Ккал/кг	Удельный объем газов, л/кг	Плотность, г/см³	Скорость детонации, км/с	Критический диаметр, мм
«Гранулит ПС»	0–1,0	920	990	0,7–0,9	4,0–4,5	240
«Сипекс»	-2	676	1 020	1,05–1,25	4,1	80
«Гидронит-П»	-1,42	726	47	1,05–1,25	4,1	75

В условиях, когда применение СЗМ невозможно, основным методом заряжания обводненных скважин остается применение патронированных ЭВВ. Классическая методика ручной зарядки в обводненную скважину сопряжена с рядом существенных недостатков: повышенной трудоемкостью, снижением скорости заряжания. Также в работах [5–9] поднимается вопрос о риске нарушения целостности колонки заряда путем образования водяных прослоек.

Схема нарушения целостности колонки заряда представлена на рисунке 1.

Данная проблема влечет за собой несколько негативных факторов, а именно неполное детонирование заряда, повышенный выход негабарита, неконтролируемый разлет кусков породы [10] за счет увеличения коэффициента заполнения скважин взрывчатым веществом. Этот коэффициент используется для расчета опасных зон по разлету отдельных кусков породы в соответствующем законодательстве [11–12].

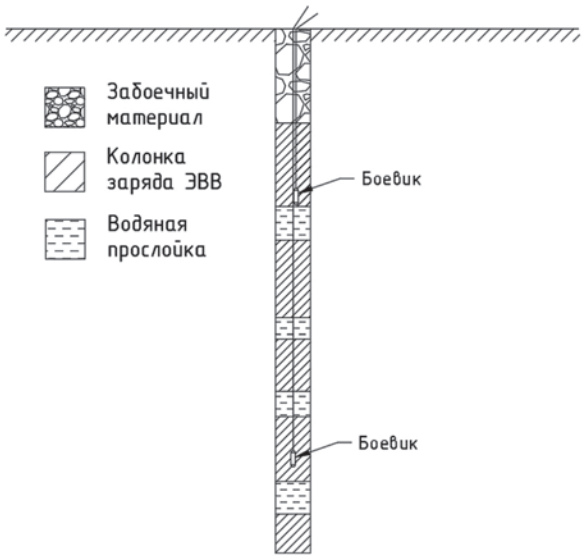


Рис. 1. **Схема нарушения целостности колонки заряда в обводненных условиях /**
Fig. 1. **Diagram of charge column integrity violation in water-filled conditions**

В связи с этим актуальной научно-технической задачей является разработка и внедрение новых методов зарядки патронированных ЭВВ в обводненные скважины, которые позволили бы минимизировать указанные негативные факторы в условиях отсутствия СЗМ. Такой метод должен обеспечивать надежное, быстрое и безопасное размещение заряда на проектном интервале скважины, гарантировать его полную усадку и сохранение целостности колонки заряда до момента инициирования.

Цель работы: разработка нового метода скважинной зарядки патронированным эмульсионным взрывчатым веществом (ЭВВ) путем использования специального устройства для формирования колонки заряда патронированным ЭВВ в обводненных условиях, которое позволяет эффективно преодолевать водяной столб для применения на карьерах строительных материалов Приморского края.

Научная новизна работы заключается в обосновании конструктивных и технологических параметров предлагаемого решения, а его практическая значимость – в расширении арсенала средств для ведения буровзрывных работ в сложных гидрогеологических условиях при ограниченных технических возможностях.

Методика исследования

В рамках научной работы разработано устройство для формирования конструкции заряда в обводненных скважинах патронированным ЭВВ.

Принцип исследования заключается в фиксации фактических данных при заряжании ручным методом с применением специального устройства для формирования колонки заряда в скважинах разной степени обводненности диаметром 120 мм. Фиксация данных происходит в электронные таблицы.

Параметры для фиксации: фактическая вместимость в определенный интервал времени, длина столба воды, длина скважины.

Результаты работы

Описание устройства и метод применения

Вид специального устройства для формирования колонки заряда патронированным ЭВВ в обводненных условиях приведен на рисунке 2.

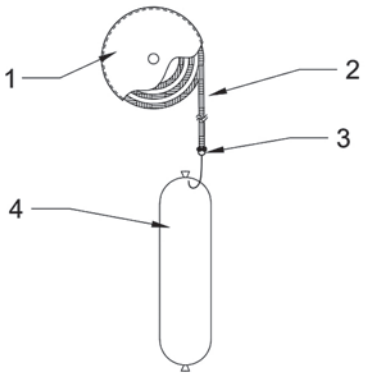


Рис. 2. **Устройство для формирования скважинного заряда патронированным эмульсионным взрывчатом веществом: 1 – рулетка с механизмом обратной пружины; 2 – неметаллический трос; 3 – крюк, состоящий из искробезопасного материала; 4 – патрон ЭВВ /**
Fig. 2. **Device for forming a borehole charge with cartridged emulsion explosive: 1 – tape measure with return spring mechanism; 2 – non-metallic cable; 3 – hook made of spark-safe material; 4 – cartridge of emulsion explosive**

Устройство состоит из гибкого троса и крюка, выполненных из искробезопасного материала. Крюк закреплен на тросе надежным узлом, длина троса должна быть больше 2 м длины заряжаемой скважины. Перед опусканием в скважину патрон надрезается, крюк фиксируется за оболочку патрона с его торца. Патрон опускают в скважину на тросе, контролируя его траекторию до достижения колонки заряда. После этого взрывник прикладывает к тросу резкое усилие на подъем, в результате чего оболочка патрона надрывается по месту крепления крюка, затем устройство извлекается из скважины.

Механизм достижения целостности колонки заряда

Как показано в исследованиях [10], процесс заряжения патронированного ЭВВ в обводненных условиях сопряжен с рядом технологических рисков: возможно застревание патрона из-за неровности стенок скважины с образованием водяных прослоек, что снижает или полностью прекращает детонацию; при переходе из воздушной среды в водную патрон подвергается гидродинамическому удару, ведущему к разрушению оболочки и закупорке ствола.

Для повышения качества взрывной отбойки и минимизации выхода негабарита критически важно обеспечить целостность колонки скважинного заряда. Предлагаемое устройство решает проблему образования водяных прослоек при формировании заряда патронированным ЭВВ. Это позволяет повысить скорость детонации, улучшить гранулометрический состав раздробленной горной массы и, как следствие, снизить затраты на последующее дробление негабарита.

Результат достигают путем контролированного опускания патрона ЭВВ по стволу скважины. При переходе фазы воздух – вода патрон не разбивает о зеркало воды, что не приводит к закупориванию скважины. По мере движения в воде патрон не застревает в стенках ствола скважины, что дает возможность сформировать столб заряда без образования водяных прослоек. Под собственным весом патроны раскрываются по мере формирования столба колонки заряда.

Схема способа работы устройства при формировании колонки заряда в обводненных условиях при работе патронированным ЭВВ представлена на рисунке 3.

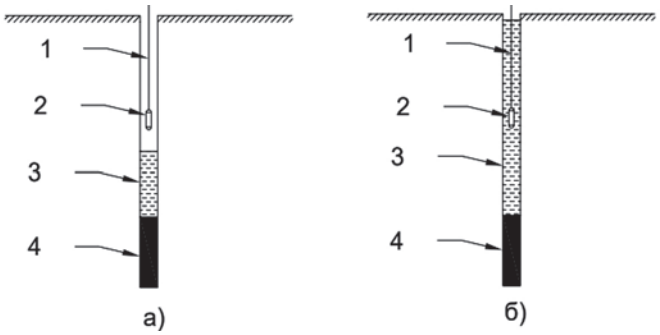


Рис. 3. **Схема способа работы устройства при формировании колонки патронированного эмульсионного взрывчатого вещества: а – при частичном обводнении; б – при обводнении под устья скважины: 1 – трос; 2 – патрон ЭВВ; 3 – вода; 4 – сформированная колонка ЭВВ /**
Fig. 3. **Diagram of the device operating method for forming a column of cartridged emulsion explosive: a – under partial water filling; b – under water filling up to the borehole collar: 1 – cable; 2 – cartridge of emulsion explosive; 3 – water; 4 – formed column of emulsion explosive**

Результаты экспериментальных испытаний устройства

Предлагаемый эксперимент направлен на оценку эффективности разработанного устройства. С этой целью будет выполняться регистрация фактической вместимости в различные временные интервалы. Полученные данные позволят оценить целостность колонки заряда и сформулировать обоснованные выводы (табл. 2).

Анализ данных, приведенных в таблице 2, подтверждает соответствие устройства поставленным целям. Непосредственно после заряжания скважины отклонение параметра вместимости от проектного значения достигает 7,3 %. По истечении 24 часов максимальное отклонение снижается до 3,1 %, при этом фиксируются скважины с полным соответствием проектному значению. Среднее значение отклонения составляет 1,07 %.

Указанные показатели свидетельствуют об эффективности применения разработанного устройства.

Выводы

1. Полученные в ходе экспериментальных исследований данные подтверждают высокую эффективность разработанного устройства. Установлено, что по истечении 24 часов с момента заряжания колонка заряда сохраняет соответствие проектной вместимости. Средний показатель отклонения при этом составляет 1,07 %, что существенно ниже значений, зафиксированных в прошлом исследовании [10]. Таким образом, предлагаемый метод зарядки патронированных ЭВВ с использованием описанного устройства может быть рекомендован для промышленного применения в условиях, где

Таблица 2 / Table 2

**Изменение фактической вместимости в разный интервал времени /
Change in actual capacity over different time intervals**

Длина скважины $L_{скв}$, м	Высота столба воды L	Проектная длина заряда, $L_{зар}$, м	Вес заряда в скважине Q, кг	Время после зарядки								
				0 часов			6 часов			24 часа		
				$P_{факт}$, кг/м	$L_{зар}$, м	Δ, %	$P_{факт}$, кг/м	$L_{зар}$, м	Δ, %	$Ф_{акт}$, кг/м	$L_{зар}$, м	Δ, %
9,3	9,3	6,2	88	13,3	6,6	6,5	13,8	6,4	3,2	14,0	6,3	1,6
12,7	9,1	9,6	136	13,2	10,3	7,3	14,0	9,7	1,0	14,0	9,7	1,0
8,1	8,0	7,4	104	13,2	7,9	6,8	14,1	7,4	0,0	14,1	7,4	0,0
13,4	13	5,9	84	13,3	6,3	6,8	14,0	6,0	1,7	14,0	6,0	1,7
10,9	5,9	10,5	148	13,2	11,2	6,7	13,7	10,8	2,9	13,8	10,7	1,9
11,2	8,4	8,2	116	13,3	8,7	6,1	13,8	8,4	2,4	14,1	8,2	0,0
8,8	8,4	11	156	13,6	11,5	4,5	13,7	11,4	3,6	13,7	11,4	3,6
14	10,2	5,4	76	13,3	5,7	5,6	14,1	5,4	0,0	14,1	5,4	0,0
10,1	8,2	9,1	128	13,2	9,7	6,6	14,1	9,1	0,0	14,1	9,1	0,0
13,6	11,3	6,8	96	13,7	7,0	2,9	14,1	6,8	0,0	14,1	6,8	0,0
9,5	5,3	7,9	112	13,3	8,4	6,3	14,0	8,0	1,3	14,0	8,0	1,3
12	7,6	10,8	152	13,2	11,5	6,5	13,8	11,0	1,9	13,9	10,9	0,9
8,4	7,9	5,7	80	13,6	5,9	3,5	14,0	5,7	0,0	14,0	5,7	0,0
11,7	11,7	8,5	120	13,6	8,8	3,5	14,0	8,6	1,2	14,0	8,6	1,2
10,3	9,1	9,3	132	13,6	9,7	4,3	13,8	9,6	3,2	14,0	9,4	1,1
13,1	13,0	6,5	92	13,5	6,8	4,6	13,7	6,7	3,1	13,7	6,7	3,1
9,8	7,2	11	156	13,3	11,7	6,4	13,6	11,5	4,5	13,8	11,3	2,7
12,5	12,5	5,1	72	13,6	5,3	3,9	14,1	5,1	0,0	14,1	5,1	0,0
8,6	6,5	7,1	100	13,5	7,4	4,2	13,9	7,2	1,4	13,9	7,2	1,4
11	9,6	9,9	140	13,5	10,4	5,1	13,9	10,1	2,0	14,1	9,9	0,0

использование смесительно-зарядных машин невозможно или экономически нецелесообразно.

2. Несмотря на полученные положительные результаты, представленное исследование не исчерпывает всего спектра вопросов, связанных с применением разработанного устройства. Дальнейшие исследования целесообразно направить на расширение области экспериментальной апробации. В частности, требуется оценить эффективность предложенного метода при заряжании скважин других диаметров, а также на репрезентативной выборке с увеличением числа опытных скважин для повышения статистической достоверности результатов. Кроме того, перспективным направлением является проведение измерений скорости детонации сформированной колонки заряда, подобно исследованиям [13–15], что позволит установить количественную связь между целостностью заряда и его детонационными характеристиками.

3. Наряду с этим для комплексной оценки эффективности предлагаемого метода необходимо выполнить анализ качества взрывных работ путем прямого замера выхода негабаритных фракций после массового взрыва. Сопоставление доли негабарита при использовании разработанного устройства и при традиционных способах заряжания позволит подтвердить его технологическую целесообразность и ожидаемый экономический эффект за счет снижения затрат на последующее дробление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Швабенланд Е.Е. и др. Способ повышения качества подготовки пород к выемке при использовании эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах с высокими уступами. *Горная промышленность*. 2021; 6: 62-67. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021.
   Pytalev I.A., Domozhirov D.V., Shvabenland E.E. et al. A method for improving the quality of rock preparation for excavation using emulsion explosives in quarries with high benches. *Mining Industry.* 2021; (6): 62-67. (In Russ.). https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-62-67.
2. Miyakea A., Takaharaa K., Ogawaa T., et al. Influence of physical properties of ammonium nitrate on the detonation behaviour of ANFO. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2001; 14 (6): 533-538. https://doi.org/10.1016/S0950- 4230(01)00041-9.
3. Кутузов Б.Н. Справочник взрывника: Ч. 2: Техника, технология и безопасность взрывных работ. Москва, 2014: 304.
   Kutuzov B.N. Blaster's Handbook. Part 2: Techniques, Technology and Safety of Blasting Operations. Moscow, 2014: 304. (In Russ.).
4. Кутузов Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности. Москва, 2009: 670.
   Kutuzov B.N. Safety of Blasting Operations in Mining and Industry. Moscow, 2008: 670. (In Russ.).
5. Тухбатулин А.Р., Васянович Ю.А. Сравнительный анализ качества взрывных работ при разных методах зарядки в обводненных условиях (на примере Первореченского месторождения андезитов). *Маркшейдерия и недропользование*. 2025; 25 (2): 12-18. https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-12-18.
   Tukhbatulin A.R., Vasyanovich Yu.A. Comparative analysis of the quality of blasting operations using different charging methods in water-bearing conditions (on the example of the Pervorechenskoye andesite deposit). *Mine Surveying and Subsoil Use.* 2025; 25 (2): 12-18. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-12-18.

6. Педан Н.Р. Применение взрывчатого вещества Гидронит-П в водонасыщенных скважинах на взрывном блоке. *Научный аспект*. 2023; 34 (12): 4252-4257.
Pedan N.R. Application of HydroNit-P explosive in water-saturated boreholes in a blast block. *Scientific Aspect.* 2023; 34 (12): 4252-4257. (In Russ.).
7. Педан Н.Р., Васянович Ю.А. Применение водоустойчивого взрывчатого вещества «Гидронит-П» в горной промышленности. *Взрывное дело*. 2024; 143 (100): 122-132.
Pedan N.R., Vasyanovich Yu.A. Application of water-resistant explosive "HydroNit-P" in the mining industry. *Blasting Technology.* 2024; 143 (100): 122-132. (In Russ.).
8. Фокин В.А. Распределение плотности эмульсионных взрывчатых веществ по высоте колонки скважинного заряда. *Известия вузов. Горный журнал*. 2007; 3: 89-94.
Fokin V.A. Density distribution of emulsion explosives along the height of a borehole charge column. *News of Higher Educational Institutions. Mining Journal.* 2007; (3): 89-94. (In Russ.).
9. Галимьянов А.А., Черских О.И., Рассказова А.В. и др. Методика обеспечения качества заряда наливного эмульсионного взрывчатого вещества в обводненных скважинах. *Уголь*. 2024; 1 (1176): 100-108. https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-100-108.
Galimyanov A.A., Cherskikh O.I., Rasskazova A.V., et al. Methodology for ensuring the quality of bulk emulsion explosive charges in water-filled boreholes. *Coal*. 2024; 1 (1176): 100-108. (In Russ.). https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-100-108.
10. Тухбатулин А.Р., Васянович Ю.А. Исследование усадки патронированного ЭВВ в обводненных условиях при формировании колонки заряда. *Взрывное дело*. 2025; 149-106: 39-54.
Tukhbatulin A.R., Vasyanovich Yu.A. Investigation of the settlement of packaged explosives in water-bearing conditions during charge column formation. *Blasting Technology.* 2026; 149-106: 39-54. (In Russ.).
11. Самусев П.А., Новиньков А.Г., Протасов С.И. Определение дальности разлета отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов рыхления. *Техника и технология горного дела.* 2023; 4 (23): 4-25. https://doi.org/10.26730/2618-7434-2023-4-4-25.
Samusev P.A., Novinkov A.G., Protasov S.I. Determination of the flight range of individual rock fragments during blasting of borehole loosening charges. *Technique and Technology of Mining.* 2023; 4 (23): 4-25. (In Russ.). https://doi.org/10.26730/2618-7434-2023-4-4-25.
12. Черских О.И., Галимьянов А.А., Корнеева С.И., Мишнев В.И. Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов. Уголь. 2023; № 5 (1167): 50-54. https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-50-54.
Cherskikh O.I., Galimyanov A.A., Korneeva S.I., Mishnev V.I. Refined formula for determining the radius of the danger zone from flyrock of individual rock mass pieces during blasting of borehole charges. *Coal.* 2023; 5 (1167): 50-54. (In Russ.). https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-50-54.
13. Mesec J., Zganec S., Kovac I. In-hole velocity of detonation (VOD) measurements as a framework for the selection type of explosive. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015; 25 (4): 675-680. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.05.024.
14. Кутуев В.А., Меньшиков П.В., Жариков С.Н. Анализ методов исследования детонационных процессов ВВ. *Проблемы недропользования*. 2016; 4: 78-87.
Kutuev V.A., Menshikov P.V., Zharikov S.N. Analysis of methods for studying explosive detonation processes. *Subsoil Use Problems.* 2016; (4): 78-87. (In Russ.).
15. Галимьянов А.А., Герасимов Д.Е., Мишнев В.И. и др. Влияние параметров БВР на скорость детонации заряда взрывчатых веществ. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* 2022; 9; 268-274. https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-9-268-274.
Galimyanov A.A., Gerasimov D.E., Mishnev V.I., et al. Influence of drilling and blasting parameters on the detonation velocity of explosive charges. *Proceedings of Tula State University. Technical Sciences.* 2022; (9): 268-274. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-9-268-274.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Артем Рустамович Тухбатулин –
аспирант кафедры горного дела, ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет», г. Владивосток, Российская Федерация; e-mail: zx365@yandex.ru

Юрий Анатольевич Васянович –
д-р техн. наук, профессор кафедры горного дела ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет», г. Владивосток, Российская Федерация; e-mail: vasyanovich_2011@mail.ru

Петр Сергеевич Таран –
генеральный директор ООО «Якутская взрывная компания», г. Спасск-Дальний, Российская Федерация; e-mail: taran@yvkdv.ru

ABOUT THE AUTHORS

Artem R. Tukhbatulin –
postgraduate student of the Department of Mining Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vladivostok State University, Vladivostok, Russian Federation; e-mail: zx365@yandex.ru

Yuri A. Vasyanovich –
Dr. Sci. (Eng.), Professor of Mining Engineering Department, Vladivostok State University, Vladivostok, Russian Federation; e-mail: vasyanovich_2011@mail.ru

Petr S. Taran –
General Director of Yakutsk Explosive Company LLC, Spassk-Dalny, Russian Federation; e-mail: taran@yvkdv.ru

Критерии авторства:
А. Р. Тухбатулин – разработка концепции исследования, постановка целей и задач, проведение полевых исследований, сбор и анализ данных, подготовка текста статьи, включая описание методики, результатов и выводов; оформление таблиц, визуализация данных; Ю. А. Васянович – научное руководство исследованием, консультации по методологии и интерпретации данных, рецензирование и редактирование текста статьи, уточнение теоретической части; П. С. Таран – консультирование при разработке устройства, помощь в проведении исследования. Все авторы ознакомились с финальной версией статьи и одобрили ее для публикации.

Конфликт интересов:
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье
Поступила в редакцию: 11.06.2026
Поступила после рецензирования: 24.08.2026
Принята к публикации: 05.09.2026

Contribution:
A. R. Tukhbatulin – development of the research concept, formulation of goals and objectives, conducting field research, data collection and analysis, preparation of the manuscript text, including description of methodology, results, and conclusions, design of tables and data visualization; Yu. A. Vasyanovich – scientific supervision of the research, consultations on methodology and data interpretation, review and editing of the manuscript, refinement of the theoretical framework; P. S. Taran – consultation on the development of the device, assistance in conducting the research.
All authors participated in the development of the research concept and formulation of its objectives.

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

Article info
Received: 11.06.2026
Revised: 24.08.2026
Accepted: 05.09.2026