

Статья поступила в редакцию: 26.06.2026

Статья принята к публикации: 04.07.2026

Статья опубликована: 28.08.2026

УДК 622.235+662.2

DOI: 10.32743/UniTech.2026.149.8.23148

Технико-экономический анализ технологий формирования скважинных зарядов и применения комбинированных взрывчатых веществ в обводнённых скважинах

Насиров Уткир Фатидинович

д-р техн. наук, проф.

Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г.

Алмалык

Республика Узбекистан, г. Алмалык

E-mail: u_nosirov@mail.ru

Сапаров Мейлис Аннаклиевич

начальник

производственно-технического отдела рудника Ауминзо-Амантой Северного рудоуправления

АО Навоийский ГМК

Республика Узбекистан, г. Зарафшан

E-mail: m.saparov@ngmk.uz

Сафарова Мафтуна Давроновна

докторант кафедры

Горное дело, Навоийский государственный горно-технологический университет

Республика Узбекистан, г. Навои

E-mail: maftunasafarova2806@gmail.com

Заирова Рушана Шерзодовна

студент

Филиала Национального исследовательского технологического университета МИСИС в г.

Алмалык

Республика Узбекистан, г. Алмалык

E-mail: sher-z@mail.ru

Technical and economic analysis of borehole charge formation technologies and the use of combined explosives in water-saturated boreholes

Nasirov Utkir Fatidinovich

doctor of Technical Sciences, Professor

Branch of the National Research Technological University MISIS in Almalyk

Uzbekistan, Almalyk

Saparov Meilis Annaklichevich

Head of the Production and Technical Department of the Auminzo-Amantoy mine of the Northern

Mining Department of Navoi MMC JSC

Uzbekistan, Zarafshan

Safarova Maftuna Davronovna

Doctoral student

at the Department of Mining at Navoi State University of Mining and Technology

Uzbekistan, Navoi

Zairova Rushana Sherzodovna

student at the Branch of the National Research, Technological University MISIS in Almalyk

Uzbekistan, Almalyk

Аннотация

Целью настоящего исследования является анализ современного состояния и технико-экономическая оценка технологий формирования скважинных зарядов взрывчатых веществ в условиях обводнённых горных пород. Методологическую основу работы составляет систематический обзор отечественных и зарубежных литературных источников, посвящённых методам взрывания в водонасыщенных скважинах, с применением сравнительного анализа технологических решений по критериям надёжности, экономической эффективности и управляемости взрывного воздействия. В ходе исследования выявлены и систематизированы шесть основных направлений технологий взрывания в обводнённых скважинах: применение водоустойчивых взрывчатых веществ, использование гидроизолирующих оболочек, предварительное осушение скважин, формирование комбинированных зарядов, предварительное разупрочнение массива и применение специальных конструкций зарядов. Установлено, что каждое из рассмотренных технологических направлений обладает определёнными преимуществами, однако характеризуется существенными ограничениями в части управления энергетическим воздействием на приконтурную зону. Показано, что вопросы сохранения устойчивости приконтурного массива, ограничения глубины техногенной нарушенности и снижения интенсивности заколообразования при контурном взрывании в условиях обводнения остаются недостаточно изученными. Практическая значимость работы состоит в систематизации существующих технологических решений, выявлении пробелов в научно-технической базе и обосновании направлений дальнейшего совершенствования технологий контурного взрывания в обводнённых скважинах, в том числе с применением комбинированной инертной забойки.

Библиографическое описание: Техничко-экономический анализ технологий формирования скважинных зарядов и применения комбинированных взрывчатых веществ в обводнённых скважинах // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Насиров У.Ф. [и др.]. 2026. 8(149). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23148>

Abstract

The purpose of this study is to analyse the current state and provide a technical-economic assessment of borehole charge formation technologies for explosives under water-saturated rock conditions. The methodological basis of the work is a systematic review of domestic and foreign literature on blasting methods in water-filled boreholes, using comparative analysis of technological solutions by criteria of reliability, economic efficiency, and controllability of the blast impact. Six main directions of blasting technologies in water-saturated boreholes were identified and systematised: the use of water-resistant explosives, waterproof shells, preliminary borehole dewatering, combined charge formation, preliminary rock weakening, and special charge designs. It was established that each of the reviewed technological directions has certain advantages but is characterised by significant limitations in managing the energy impact on the contour zone. It is shown that the issues of maintaining the stability of the contour rock mass, limiting the depth of man-induced disturbance, and reducing spalling intensity during contour blasting under water-saturated conditions remain insufficiently studied. The practical significance of the work lies in the systematisation of existing technological solutions, identification of gaps in the scientific and technical knowledge base, and justification of directions for further improvement of contour blasting technologies in water-saturated boreholes, including the use of combined inert stemming.

Ключевые слова: обводнённые скважины, скважинный заряд, водоустойчивые взрывчатые вещества, комбинированный заряд, контурное взрывание, гидроизолирующая оболочка, приконтурный массив.

Keywords: water-saturated boreholes, borehole charge, water-resistant explosives, combined charge, contour blasting, waterproof shell, contour rock mass.

Введение

Выполнение буровзрывных работ в обводнённых скважинах относится к числу наиболее сложных задач взрывного дела. Присутствие воды изменяет условия размещения заряда в скважине, ограничивает применение неводоустойчивых взрывчатых веществ, влияет на характер передачи энергии взрыва и затрудняет управление процессами разрушения породного массива. В связи с этим разработаны различные подходы к решению данной проблемы, включая применение водоустойчивых ВВ, гидроизолирующих оболочек, предварительное осушение скважин, использование комбинированных зарядов и специальных конструкций скважинных зарядов [1–22].

Вместе с тем большинство известных технологических решений ориентировано на обеспечение надёжной детонации зарядов и повышение эффективности дробления массива, тогда как вопросы управления геомеханическим состоянием приконтурной зоны при контурном взрывании в обводнённых условиях остаются недостаточно изученными. В условиях обводнения вода выступает не только как фактор, осложняющий ведение буровзрывных работ, но и как среда, способствующая более интенсивной передаче взрывного импульса в массив, что приводит к увеличению зоны разрушения, развитию заколов, раскрытию трещин и снижению устойчивости приконтурных участков.

Целью настоящей работы является анализ и технико-экономическая оценка существующих технологий формирования скважинных зарядов и применения комбинированных взрывчатых веществ в обводнённых скважинах, а также определение направлений дальнейшего совершенствования технологий контурного взрывания в водонасыщенных условиях.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляет систематический обзор и сравнительный анализ отечественных и зарубежных научно-технических источников по вопросам взрывания в обводнённых скважинах [1–22]. Анализ публикаций проводился по следующим критериям: технологическая надёжность предлагаемого решения, экономическая эффективность, управляемость энергетического воздействия на приконтурный массив, возможность применения в условиях контурного взрывания.

Для структурирования результатов анализа применён метод классификации технологических решений по направлениям, что позволило выявить основные тенденции развития технологий и определить недостаточно изученные аспекты проблемы. Степень научной проработанности каждого аспекта оценивалась по качественной шкале: высокая, достаточная, средняя, недостаточная.

Основу для исследования составили работы по применению «плавающих зарядов» [11], использованию неводоустойчивых ВВ при разрушении обводнённых горных пород [2, 3, 7, 12], гидроизоляции скважинных зарядов [5, 6, 10, 14], предварительному осушению скважин [18], а также обобщающие работы по теории взрывного разрушения горных пород [16, 20, 21].

Результаты и обсуждение

Одним из ранних направлений совершенствования технологии взрывания в обводнённых скважинах стали исследования применения «плавающего заряда» [11]. Необходимость разработки данной конструкции была обусловлена тем, что при традиционном размещении заряда в обводнённой скважине значительная часть энергии расходуется неэффективно из-за непосредственного контакта ВВ с водой, неравномерного распределения заряда по длине скважины и изменения условий распространения ударных волн в системе «заряд – вода – горный массив».

Предложенная конструкция основывалась на пространственном разделении заряда и водной среды за счёт размещения ВВ в подвешенном либо плавающем положении относительно водяного столба. Конструкция сплошного комбинированного скважинного заряда (а) и «плавающего заряда» с водным промежутком (б) показана на рис. 1, где: 1 – водоустойчивое ВВ; 2 – неводоустойчивое ВВ; 3 – забойка; 4 – водный промежуток (столб воды); 5 – поплавки из лёгкого материала; d – диаметр скважины.

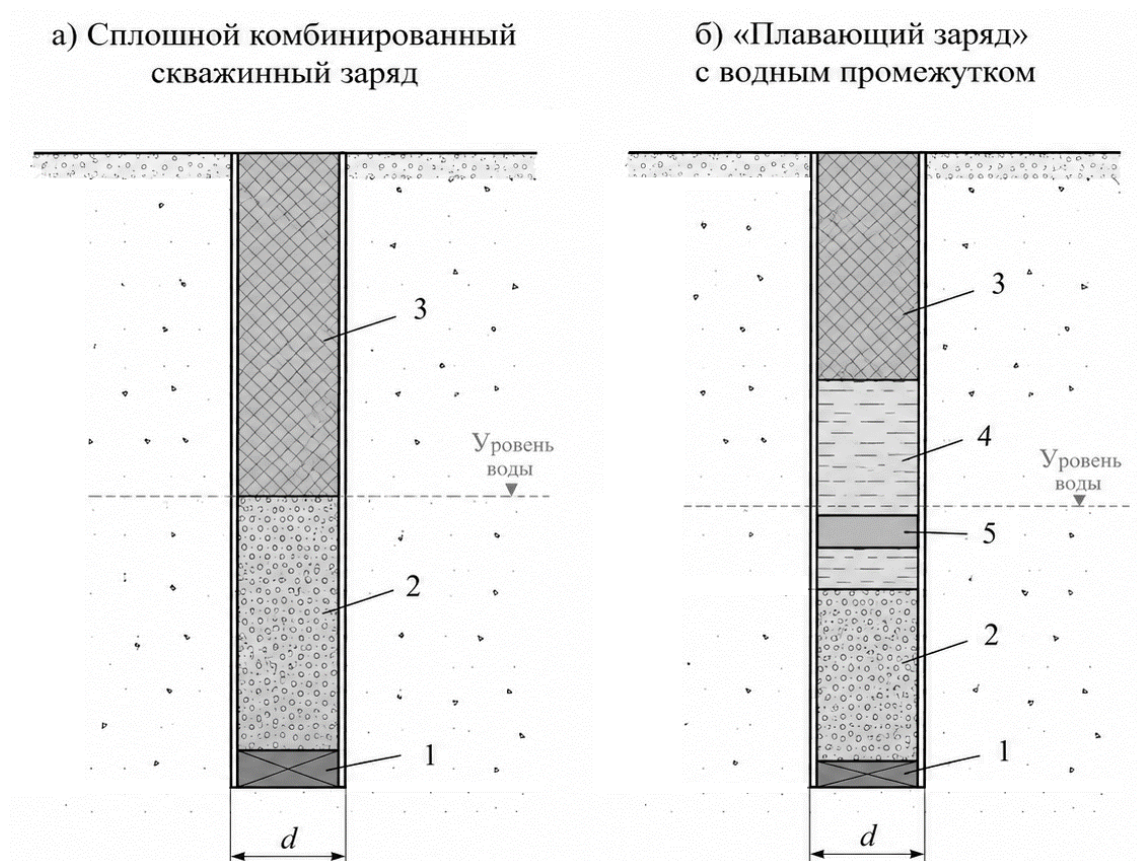


Рисунок 1. Конструкция сплошного комбинированного скважинного заряда (а) и «плавающего заряда» с водным промежутком (б)

Экспериментальные исследования [11] показали, что положение заряда относительно уровня воды существенно влияет на характер разрушения пород, степень их дробления и распределение энергии по длине скважины. Вместе с тем данная схема имеет существенный недостаток: повышенный расход сравнительно дорогостоящих водоустойчивых ВВ, особенно отчётливо проявляющийся в интенсивно трещиноватых породных массивах.

Значительный вклад в развитие технологий взрывания в обводнённых скважинах внесли исследования, направленные на обоснование возможности применения неводоустойчивых ВВ [2, 3, 7, 12]. В работе [3] предложен подход, основанный на рациональном распределении различных типов ВВ по длине скважины: нижняя обводнённая часть заряда формировалась из водоустойчивых компонентов, тогда как в верхнем интервале допускалось применение неводоустойчивых ВВ. Это позволило сократить расход дорогостоящих водоустойчивых ВВ при сохранении устойчивости детонационного процесса.

Исследования [7], выполненные для условий обводнённых горизонтов карьера ИнГОКа, показали, что с увеличением глубины разработки влияние гидрогеологических факторов существенно возрастает. Результаты подтвердили, что применение усовершенствованных технологий заряжения повышает качество дробления пород и улучшает технико-экономические показатели взрывных работ. В работе [12] показано, что эффективность применения неводоустойчивых ВВ определяется не только свойствами взрывчатого вещества, но и конструкцией заряда и условиями его функционирования в обводнённой среде.

В ряде исследований [5, 6, 10] основное внимание уделено применению гидроизолирующих оболочек для защиты неводоустойчивых ВВ от воздействия воды. Производственные испытания [23] подтвердили работоспособность подобных решений, однако выявили их ограничения при изменяющемся уровне обводнения, неустойчивых стенках скважин и высокой трещиноватости массива. Применение защитных оболочек усложняет процесс заряжания, повышает требования к герметичности конструкции и увеличивает трудоёмкость работ.

В работах [4, 17] предложены технологические схемы формирования зарядов с учётом фактического уровня воды в скважине: в нижней обводнённой части размещаются водоустойчивые ВВ (гранулотол, алюмотол и др.), а в верхнем интервале – более экономичные неводоустойчивые взрывчатые вещества. Данные решения ориентированы на обеспечение работоспособности заряда и эффективность разрушения массива, тогда как вопросы управления передачей энергии в приконтурную зону остаются недостаточно проработанными.

Предварительное осушение скважин [18] позволяет применять традиционные схемы заряжания, однако требует дополнительного оборудования и увеличивает трудоёмкость работ. Существенным ограничением является невозможность полного удаления воды из трещиноватого массива. Работы [16, 20, 21] формируют методологическую основу для анализа скважинных зарядов, однако вопросы контурного взрывания в обводнённых скважинах с применением комбинированной инертной забойки в них не получили достаточного развития.

На основании анализа литературных источников [1–22] выделены основные технологические направления взрывания в обводнённых скважинах, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные направления развития технологий взрывания в обводнённых скважинах

Направление	Краткая характеристика	Основные преимущества	Основные ограничения
Применение водоустойчивых ВВ	Использование взрывчатых веществ, сохраняющих работоспособность при контакте с водой	Высокая надёжность работы заряда в обводнённых условиях	Повышенная стоимость, ограниченные возможности регулирования воздействия на приконтурный массив
Использование гидроизолирующих оболочек	Защита неводоустойчивых ВВ от непосредственного контакта с водой	Возможность применения более дешёвых ВВ	Сложность обеспечения герметичности и увеличение трудоёмкости работ
Предварительное осушение скважин	Удаление воды перед выполнением операций заряжания	Возможность применения традиционных схем заряжания	Увеличение продолжительности подготовительных работ и неполное удаление воды из трещин
Комбинированные заряды	Рациональное сочетание водоустойчивых и неводоустойчивых взрывчатых веществ по длине скважины	Снижение затрат и адаптация конструкции заряда к уровню воды	Недостаточная изученность влияния на состояние приконтурного массива

Предварительное разупрочнение массива	Создание условий для облегчения последующего разрушения пород	Повышение эффективности взрывного разрушения	Не ориентировано на сохранение проектного контура и ограничение заколов
Специальные конструкции зарядов	«Плавающие» заряды, защитные оболочки и другие нестандартные схемы размещения ВВ	Возможность регулирования положения заряда в скважине	Сложность практической реализации и контроля параметров заряда

Сравнение рассмотренных технологий свидетельствует о том, что применение водоустойчивых ВВ обеспечивает высокую надёжность взрывания, однако не позволяет контролировать передачу энергии в законтурный массив. Использование гидроизолирующих оболочек позволяет применять неводоустойчивые ВВ, но усложняет технологию и повышает требования к герметичности. Предварительное осушение скважин эффективно лишь при невысокой степени обводнённости. Комбинированные заряды обладают большей технологической гибкостью, но вопросы управления геомеханическим состоянием приконтурного массива остаются недостаточно изученными.

Проведённый анализ позволил оценить степень разработанности научно-технических задач, связанных с контурным взрыванием в обводнённых условиях. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Оценка степени научной проработанности существующих решений применительно к контурному взрыванию в обводнённых условиях

Научно-техническая задача	Степень изученности	Примечание
Обеспечение работоспособности заряда в водной среде	Высокая	Рассмотрены вопросы применения водоустойчивых ВВ, гидроизолирующих оболочек и предварительного осушения
Использование неводоустойчивых ВВ в обводнённых скважинах	Высокая	Разработаны технологии гидроизоляции и комбинированного формирования зарядов
Повышение эффективности дробления обводнённых пород	Достаточная	Представлены результаты производственных и экспериментальных исследований
Управление распределением энергии взрыва	Средняя	Имеются отдельные исследования, однако их связь с контурным взрыванием раскрыта недостаточно
Ограничение глубины техногенной нарушенности массива	Недостаточная	Рассматривается лишь в отдельных работах и не имеет комплексного решения
Снижение заколообразования в приконтурной зоне	Недостаточная	Отсутствуют специализированные решения для обводнённых контурных скважин
Применение комбинированной инертной забойки	Недостаточная	Требуется дополнительное научное обоснование и экспериментальная проверка

Как следует из данных табл. 2, наиболее полно в научно-технической литературе освещены вопросы обеспечения работоспособности зарядов в водной среде и применения неводоустойчивых взрывчатых веществ в обводнённых скважинах. В то же время проблемы ограничения глубины техногенной нарушенности массива, снижения интенсивности

заколообразования и применения комбинированной инертной забойки остаются недостаточно изученными и требуют дополнительного научного обоснования и экспериментальной проверки.

Заключение

1. Выявлено шесть основных направлений технологий взрывания в обводнённых скважинах: применение водоустойчивых ВВ, использование гидроизолирующих оболочек, предварительное осушение скважин, формирование комбинированных зарядов, предварительное разупрочнение массива и применение специальных конструкций зарядов. Каждое из направлений характеризуется определёнными технологическими преимуществами и существенными ограничениями.

2. Установлено, что существующие технологические решения ориентированы преимущественно на обеспечение надёжной детонации зарядов и повышение эффективности дробления горного массива. Вопросы управления геомеханическим состоянием приконтурной зоны, ограничения глубины техногенной нарушенности и снижения заколообразования при контурном взрывании в обводнённых условиях остаются недостаточно изученными.

3. Показано, что вода в скважине выступает не только как осложняющий фактор, но и как среда, способствующая более интенсивной передаче взрывного импульса в приконтурный массив. Это обуславливает необходимость разработки специализированных технологических решений, направленных на регулирование энергетического воздействия взрыва на законтурную зону.

4. Определены приоритетные направления дальнейших исследований: разработка и научное обоснование применения комбинированной инертной забойки в обводнённых контурных скважинах, а также изучение закономерностей влияния различных конструкций зарядов на состояние приконтурного массива в условиях водонасыщения.

Список литературы

1. Заиров Ш.Ш., Мавлянов А.А., Гаибназаров Б.А., Сафарова М.Д. Исследование влияния обводнённости породного массива на устойчивость откосов карьера // Горный вестник Узбекистана. – 2025. – № 4.
2. Заиров Ш.Ш., Худайбердиев О.Ж., Сапаров М.А., Мавлянов А.А., Мехмонов М.Р. Математическое моделирование и анализ влияния обводнённости скважин на эффективность буровзрывных работ // Universum: технические науки. – 2026. – № 1. – DOI: 10.32743/UniTech.2026.142.1.
3. Заиров Ш.Ш., Мавлянов А.А., Хасанов О.А. Влияние обводнённости горного массива на эффективность буровзрывных работ // Konchilik, neft va gazni qayta ishlash, energetika, temir yo‘l va kimyo sanoatlari muammolari, innovatsion va dasturiy yechimlariga bag‘ishlangan respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. Бухоро,. – 2025.

4. Мавлянов А.А., Хасанов О.А., Гаибназаров Б.А. Выбор способов зарядки и взрывания скважин для условий карьера Кальмакыр // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: проблемы и их решения». Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, – 2015.
5. Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Мавлянов А.А., Гаибназаров Б.А., Мехмонов М.Р. Исследование влияния обводнённости горного массива на эффективность буровзрывных работ и сейсмическое воздействие взрывов // *Universum: технические науки*. – 2026. – № 1. – DOI: 10.32743/UniTech.2026.142.1.
6. Насиров У.Ф., Мавлянов А.А., Хасанов О.А., Гаибназаров Б.А. Increasing the economic efficiency of blasting operations in watered wells through the use of reagents // XXIII Міжнародна конференція молодих вчених. Дніпро, – 2025.
7. Насиров У.Ф., Мавлянов А.А., Мельникова Т.Е. Влияние обводнённости горного массива на сейсмическое воздействие взрывов // *Konchilik, neft va gazni qayta ishlash, energetika, temir yo‘l va kimyo sanoatlari muammolari, innovatsion va dasturiy yechimlariga bag‘ishlangan respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari*. Бухоро, – 2025.
8. Хасанов О.А., Мавлянов А.А., Мельникова Т.Е. Снижение уровня обводненности массива на карьерах предварительным контурным взрыванием // *Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых*. – 2025.
9. Шестопалов В.М., Петренко Л.И., Романюк И.М. Повышение производительности водозаборов в трещиноватых кристаллических породах путем взрывного воздействия // *Геофизический журнал*. – 2021. – Т. 43, № 5. – DOI: 10.24028/gzh.v43i5.244039.
10. Эквист Б.В., Барнов Н.Г. Разрушение горных пород взрывом в массивах с неоднородной структурой // *Горная промышленность*. – 2021. – № 3. – DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-135-138.
11. Юматов Б.П., Шебаршов А.А., Власов В.М. Экспериментальные исследования конструкции «плавающего заряда» // *Взрывное дело*. – 1974. – № 74.
12. Chen D., Chen Y., Zhou Z., Tu W., Li L. Study on internal rise law of fracture water pressure and progressive fracture mechanism of rock mass under blasting impact // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2025. – DOI: 10.1016/j.tust.2025.106545.
13. Fan Y., Miao X., Gao Q., Leng Z., Zheng J., Wu J. Influence of water depth on the range of crushed zones and cracked zones for underwater rock drilling and blasting // *International Journal of Geomechanics*. – 2022. – № 10. – DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002485.
14. Gao K., Huang P., Liu Z., Liu J., Shu C.M., Qiao G. Coal-rock damage characteristics caused by blasting within a reverse fault and its resultant effects on coal and gas outburst // *Scientific Reports*. – 2021. – DOI: 10.1038/s41598-021-98581-w.
15. Li Q., Li H., Li X., Li J., Liu K., Wei X., Peng K., Wu C. Radial pressure characteristics on borehole walls at decoupled charge blasting // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2025. – № 2. – DOI: 10.1007/s00603-024-04293-8.

16. Mavlyanov A.A., Melnikova T.E., Milyutin A. Study of the impact of preliminary contour blasting on changing the zone of intensive rock crushing and reducing the level of watering of the massif in quarry // *The Multidisciplinary Journal of Science and Technology*. – 2024. – № 5.
17. Melnikova T.E., Mavlyanov A.A., Toshtemirov U.T., Yormatov O.Sh. Types and conditions of application of excavations when conducting mining excavations // *Salud, Ciencia y Tecnología*. – 2025. – № 5.
18. Ouchterlony F. An empirical approach for predicting burden velocities in rock blasting // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2021. – № 4. – DOI: 10.1016/j.jrmge.2021.04.004.
19. Peng K., Liu X., Jing M., Wu T., Luo K., Luo S. Impact-water interaction effects on mechanical and energy characteristics of granite during uniaxial compression // *Geoenergy Science and Engineering*. – 2025. – DOI: 10.1016/j.geoen.2025.214033.
20. Research on the tensile mechanical properties of saturated sandstone damaged by deep hole blasting // *Scientific Reports*. – 2025. – DOI: 10.1038/s41598-025-11925-8.
21. Salmi E.F., Sellers E.J. A review of the methods to incorporate the geological and geotechnical characteristics of rock masses in blastability assessments for selective blast design // *Engineering Geology*. – 2021. – DOI: 10.1016/j.enggeo.2020.105970.
22. Song J.-F., Lu C.-P., Zhang X.-F., Guo Y., Yang H.-W. Damage mechanism and wave attenuation induced by blasting in jointed rock // *Geofluids*. – 2022. – DOI: 10.1155/2022/6950335.
23. Study on the efficiency of energy transfer in the blasting with different coupling mediums for deep rock mass excavation // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2025. – T. 319. – DOI: 10.1016/j.engfracmech.2025.111048.

References

1. Zairov Sh.Sh., Mavlyanov A.A., Gaibnazarov B.A., Safarova M.D. Issledovanie vliyaniya obvodnennosti porodnogo massiva na ustoichivost' otkosov kar'era [Study of the influence of rock mass water saturation on the stability of open-pit slopes]. *Gornyi vestnik Uzbekistana*, 2025, no. 4, P. 22–26. (In Russ.)
2. Zairov Sh.Sh., Khudayberdiev O.Zh., Saparov M.A., Mavlyanov A.A., Mekhmonov M.R. Matematicheskoe modelirovanie i analiz vliyaniya obvodnennosti skvazhin na effektivnost' burovzryvnykh rabot [Mathematical modeling and analysis of the influence of water-filled boreholes on blasting efficiency]. *Universum: Tekhnicheskie nauki*, 2026, no. 1(142). DOI: 10.32743/UniTech.2026.142.1. (In Russ.)
3. Zairov Sh.Sh., Mavlyanov A.A., Khasanov O.A. Vliyanie obvodnennosti gornogo massiva na effektivnost' burovzryvnykh rabot [Influence of rock mass water saturation on blasting efficiency] // *Proceedings of the Republican Scientific and Practical Conference «Konchilik, neft va gazni qayta ishlash, energetika, temir yo'l va kimyo sanoatlari muammolari, innovatsion va dasturiy yechimlari»*. Bukhara,. – 2025.

4. Mavlyanov A.A., Khasanov O.A., Gaibnazarov B.A. Qalmoqir kar'eri sharoiti uchun portlatish skvajinalarini portlovchi modda bilan zaryadlash va portlatish usullarini tanlash [Selection of charging and blasting methods for blast holes under the conditions of the Kalmakyr open pit]. In: Proceedings of the Republican Scientific and Technical Conference «Mining and Metallurgical Complex: Problems and Their Solutions». P. 36–37. (In Uzbek). – Mezhdurechensk: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2015.
5. Nasirov U.F., Zairov Sh.Sh., Mavlyanov A.A., Gaibnazarov B.A., Mekhmonov M.R. Issledovanie vliyaniya obvodnennosti gornogo massiva na effektivnost' burovzryvnykh rabot i seismicheskoe vozdeistvie vzryvov [Study of the influence of rock mass water saturation on blasting efficiency and seismic effects of explosions]. Universum: Tekhnicheskie nauki, 2026, no. 1(142). DOI: 10.32743/UniTech.2026.142.1. (In Russ.)
6. Nasirov U.F., Mavlyanov A.A., Khasanov O.A., Gaibnazarov B.A. Increasing the economic efficiency of blasting operations in watered wells through the use of reagents // Proceedings of the XXIII International Conference of Young Scientists. Dnipro,. – 2025.
7. Nasirov U.F., Mavlyanov A.A., Melnikova T.E. Vliyanie obvodnennosti gornogo massiva na seismicheskoe vozdeistvie vzryvov [Influence of rock mass water saturation on the seismic impact of blasting] // Proceedings of the Republican Scientific and Practical Conference «Konchilik, neft va gazni qayta ishlash, energetika, temir yo'l va kimyo sanoatlari muammolari, innovatsion va dasturiy yechimlari». Bukhara,. – 2025.
8. Khasanov O.A., Mavlyanov A.A., Melnikova T.E. Snizhenie urovnya obvodnennosti massiva na kar'erakh predvaritel'nym konturnym vzryvaniem [Reduction of rock mass water saturation in open pits by preliminary contour blasting]. In: Innovative Technologies of Mineral Mining and Processing – II: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Buston, 2025, P. 171–173. (In Russ.)
9. Shestopalov V.M., Petrenko L.I., Romanyuk I.M. Povyshenie proizvoditel'nosti vodozaborov v treshchinovatykh kristallicheskikh porodakh putem vzryvnogo vozdeistviya [Increasing the productivity of water intakes in fractured crystalline rocks by blasting]. Geofizicheskii zhurnal, 2021, vol. 43, no. 5, P. 19–34. DOI: 10.24028/gzh.v43i5.244039. (In Russ.)
10. Ekvist B.V., Barnov N.G. Razrushenie gornyx porod vzryvom v massivakh s neodnorodnoi strukturoi [Rock blasting in heterogeneous rock masses]. Gornaya promyshlennost', 2021, no. 3, P. 135–138. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-135-138. (In Russ.)
11. Yumatov B.P., Shebarshov A.A., Vlasov V.M. Eksperimental'nye issledovaniya konstruksii «plavayushchego zaryada» [Experimental studies of the «floating charge» design]. Vzryvnoe delo, Moscow: Nedra Publ., 1974, no. 74/31, P. 183–188. (In Russ.)
12. Chen D., Chen Y., Zhou Z., Tu W., Li L. Study on internal rise law of fracture water pressure and progressive fracture mechanism of rock mass under blasting impact. Tunnelling and Underground Space Technology, 2025, Article 106545. DOI: 10.1016/j.tust.2025.106545.
13. Fan Y., Miao X., Gao Q., Leng Z., Zheng J., Wu J. Influence of water depth on the range of crushed zones and cracked zones for underwater rock drilling and blasting. International Journal of Geomechanics, 2022, vol. 22, no. 10. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002485.

14. Gao K., Huang P., Liu Z., Liu J., Shu C.M., Qiao G. Coal-rock damage characteristics caused by blasting within a reverse fault and its resultant effects on coal and gas outburst. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, Article 19158. DOI: 10.1038/s41598-021-98581-w.
15. Li Q., Li H., Li X., Li J., Liu K., Wei X., Peng K., Wu C. Radial pressure characteristics on borehole walls at decoupled charge blasting. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2025, vol. 58, no. 2. DOI: 10.1007/s00603-024-04293-8.
16. Mavlyanov A.A., Melnikova T.E., Milyutin A. Study of the impact of preliminary contour blasting on changing the zone of intensive rock crushing and reducing the level of watering of the massif in quarry. *The Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 2024, vol. 5, no. 5, P. 376–379.
17. Melnikova T.E., Mavlyanov A.A., Toshtemirov U.T., Yormatov O.Sh. Types and conditions of application of excavations when conducting mining excavations. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 2025, no. 5, P. 887–894.
18. Ouchterlony F. An empirical approach for predicting burden velocities in rock blasting // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2021. – № 4. – DOI: 10.1016/j.jrmge.2021.04.004.
19. Peng K., Liu X., Jing M., Wu T., Luo K., Luo S. Impact-water interaction effects on mechanical and energy characteristics of granite during uniaxial compression. *Geoenery Science and Engineering*, 2025, vol. 254, Article 214033. DOI: 10.1016/j.geoen.2025.214033.
20. Research on the tensile mechanical properties of saturated sandstone damaged by deep hole blasting. *Scientific Reports*. – 2025. – DOI: 10.1038/s41598-025-11925-8.
21. Salmi E.F., Sellers E.J. A review of the methods to incorporate the geological and geotechnical characteristics of rock masses in blastability assessments for selective blast design. *Engineering Geology*, 2021, vol. 290, Article 105970. DOI: 10.1016/j.enggeo.2020.105970.
22. Song J.-F., Lu C.-P., Zhang X.-F., Guo Y., Yang H.-W. Damage mechanism and wave attenuation induced by blasting in jointed rock. *Geofluids*, 2022, vol. 2022, Article ID 6950335. DOI: 10.1155/2022/6950335.
23. Study on the efficiency of energy transfer in the blasting with different coupling mediums for deep rock mass excavation. *Engineering Fracture Mechanics*, 2025, vol. 319, Article 111048 // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2025. – T. 319. – DOI: 10.1016/j.engfracmech.2025.111048.