Код МРНТИ 52.13.07:52.13.21

С.А. Мустафин[1], Б. Хусан[1], Ш.Б. *Зейтинова[1], M. Iphar[2]
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),
[2]Eskisehir Osmangazi University (г. Эскишехир, Турция)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ ТРУБЧАТЫМИ ВСТАВКАМИ

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования взрывного разрушения бетонных цилиндрических образцов с трубчатыми направляющими вставками. Изготовлено 27 образцов диаметром 76 мм и высотой 152 мм из бетона. В центральной части каждого образца пробурено отверстие диаметром 16 мм глубиной 120 мм. Испытаны три серии образцов: без вставок, с полутрубчатыми вставками и с перфорированными вставками. Вставки изготавливались из ПВХ, жести и тонкого пластика, имели наружный диаметр 14 мм и высоту 120 мм. Для создания напряженного состояния часть образцов обжималась металлическими хомутами по всей длине. Установлено, что образцы без трубчатых вставок разрушаются хаотично на 3–5 фрагментов, тогда как образцы с трубчатыми вставками распадаются на 2–3 части, причем трещина преимущественно ориентируется вдоль щели или перфорации. Отмечена перспективность применения полутрубчатых и перфорированных трубчатых вставок для управления трещинообразованием при взрывном разрушении.
Ключевые слова: *взрывное разрушение, бетонные образцы, трубчатые вставки, перфорированные трубы, направленное трещинообразование, напряженное состояние.*

Түтікшелі кірістірулерді пайдаланып, бетон үлгілерін бағытталған жарылыспен бұзылуын эксперименттік зерттеу

Аңдатпа. Мақалада бағыттаушы түтікшелі кірістірулері бар бетон цилиндрлік үлгілердің жарылыстық бұзылуын эксперименталды зерттеу нәтижелері келтірілген. Бетоннан жасалған диаметрі 76 мм, биіктігі 152 мм болатын 27 үлгі дайындалды. Әрбір үлгінің орталық бөлігінде диаметрі 16 мм, тереңдігі 120 мм ұңғыма бұрғыланды. Үш серия сыналды: кірістірмесіз, жартылай түтікшелі кірістірмелермен және перфорацияланған түтікшелі кірістірмелермен. Кірістірмелер сыртқы диаметрі 14 мм, биіктігі 120 мм болатын ПВХ, қаңылтыр және жұқа пластиктен жасалды. Кернеулі күй жасау үшін үлгілердің бір бөлігі бүкіл ұзындығы бойынша металл қысқыштармен қысылды. Түтікшелі кірістірмесіз үлгілер 3–5 фрагментке ретсіз бөлінетіні, ал түтікшелі кірістірмелері бар үлгілер 2–3 бөлікке ыдырайтыны және жарықшақ саңылау немесе перфорация бойымен бағытталатыны анықталды. Жартылай түтікшелі кірістірмелер және перфорацияланған түтікшелі кірістірмелер жарылыс кезінде жарықшақ түзілуін басқарудағы маңызы атап өтілді.
Түйінді сөздер: *жарылыстық бұзылу, бетон үлгілері, түтікшелі кірістірмелер, перфорацияланған түтіктер, бағытталған жарықшақ түзілу, кернеулі күй.*

Experimental study of directional explosive destruction of concrete samples by tubular inserts

Abstract. The article presents the results of an experimental study on the explosive failure of concrete cylindrical specimens with tubular guiding elements. Twenty-seven specimens with a diameter of 76 mm and a height of 152 mm were made of concrete. A hole of 16 mm in diameter and 120 mm in depth was drilled in the central part of each specimen. Three series of specimens were tested: without inserts, with half-tubular inserts, and with perforated tubular inserts. The inserts were made of PVC, tinplate, and thin plastic; they had an outer diameter of 14 mm and a height of 120 mm. To create an stress state, some specimens were clamped along their entire length with metal clamps. It was found that specimens without inserts disintegrated randomly into 3–5 fragments, while specimens with tubular inserts broke into 2–3 fragments, with the crack propagating predominantly along the slit or perforation. The use of half-tubular and perforated inserts is promising for controlling crack formation during explosive failure.
Key words: *explosive failure, concrete specimens, tubular inserts, perforated tubes, directional fracturing, stress state.*

Введение

Буровзрывные работы являются одним из основных технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами [1, 2]. Эффективность взрывного разрушения горных пород во многом определяет производительность горных работ, качество дробления и уровень сейсмического воздействия на окружающий массив. Одним из перспективных направлений повышения эффективности взрывных работ является применение направленных конструкций зарядов, позволяющих управлять трещинообразованием и минимизировать негативные последствия взрыва на прибортовой массив [3, 4]. К таким конструкциям относятся различные трубчатые вставки, которые перераспределяют энергию заряда и задают траекторию распространения трещин [5].

Физическое моделирование на образцах из искусственных материалов позволяет в контролируемых условиях изучать механизмы взрывного разрушения, варьировать параметры и оценивать эффективность различных конструктивных решений [6]. В данной работе методом физического моделирования исследуется влияние трубчатых вставок (полутрубчатых и перфорированных) на характер разрушения бетонных цилиндрических образцов при взрывном воздействии. Проводится сравнительный анализ разрушения образцов без вставок и с вставками разных типов, оценивается направленность трещинообразования и степень фрагментации.

Методика эксперимента

Экспериментальные исследования выполнены на цилиндрических образцах из бетона [7]. Геометрические размеры образцов: диаметр 76 мм, высота 152 мм. Для изготовления образцов использовалась разборная форма из пластиковых труб диаметром 80 мм с продольным разрезом, что позволяло извлекать затвердевший образец без повреждений. После заливки бетонной смеси труба стягивалась сверху и снизу металлическими хомутами, что обеспечивало сохранение цилиндрической формы образца и предотвращало раскрытие формы в процессе твердения бетона (рис. 1).

В качестве материала модельного массива использовался бетон, свойства которого обеспечивают формирование хрупкого разрушения, сопоставимого по характеру с разрушением горных пород [7]. Бетонная смесь готовилась из портландцемента марки 500 и балласта (смесь песка и гравия) в массовом соотношении 1:3. После заливки образцы выдерживались в одинаковых условиях при постоянной

температуре и влажности в течение 28 суток для достижения требуемой прочности. Для контроля прочностных характеристик изготавливались четыре дополнительных образца, которые испытывались на сжатие и растяжение.

а *б*

Рис. 1. а – разборная пластиковая форма, б – цилиндрические бетонные образцы.
Сурет 1. а – бөлшектелетін пластикалық қалып, б – цилиндр пішінді бетон үлгілері.
Figure 1. a – demountable plastic formwork, b – cylindrical concrete samples.

В центральной части каждого образца после полного затвердевания выполнялось сверление отверстия, имитирующее скважину (ОИС) диаметром 16 мм и глубиной 120 мм, которое имитировало зарядную полость и служило для размещения взрывчатого вещества и трубчатых вставок. Трубчатые вставки выполняли роль искусственных включений, моделирующих зоны пониженного сопротивления [8], и предназначались для исследования их влияния на направление и интенсивность развития трещин при взрывном воздействии (рис. 2).

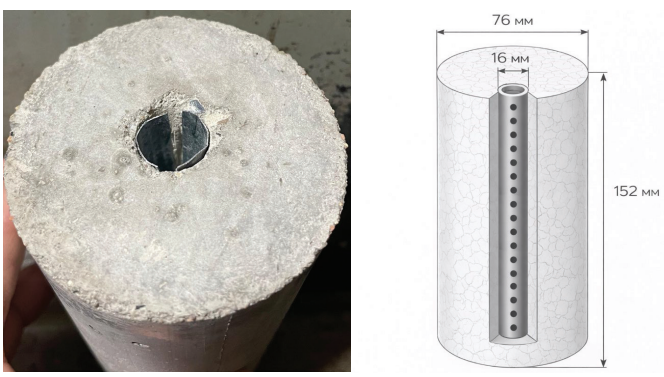


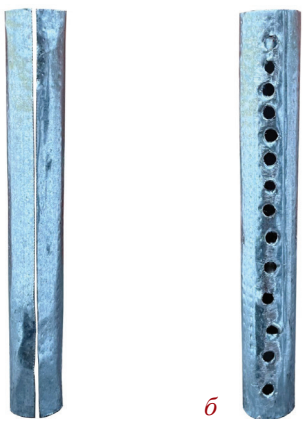
Рис. 2. Цилиндрический бетонный образец с центральным отверстием и трубчатой вставкой.
Сурет 2. Орталық тесігі және түтікшелі кірістірмесі бар цилиндр пішінді бетон үлгісі.
Figure 2. Cylindrical concrete specimen with a central hole and a tubular insert.

В экспериментах использовались три типа образцов:

- без вставок – заряд размещался непосредственно в ОИС;

- с полутрубчатыми вставками – в ОИС помещалась трубка высотой 120 мм, наружным диаметром 14 мм, имеющая продольный разрез (щель) на всю длину (рис. 3, а). Ориентация разреза задавала направление выхода энергии взрыва;

- с перфорированными трубчатыми вставками – трубка аналогичных размеров с отверстиями (перфорацией), расположенными по одной образующей линии, что также создавало направленное ослабление стенки (рис. 3, б).



а *б*

Рис. 3. а – полутрубчатая вставка, б – перфорированная трубчатая вставка.
Сурет 3. а – жартылай түтікшелі кірістірме, б – перфорацияланған түтікшелі кірістірме.
Figure 3. a – half-tubular insert, b – perforated tubular insert.

Трубчатые вставки изготавливались из различных материалов: ПВХ, жести, тонкого пластика. Толщина стенки варьировалась в зависимости от материала, но наружный диаметр во всех случаях составлял 14–15 мм, что обеспечивало свободную установку в ОИС диаметром 16 мм (с зазором для позиционирования). Трубчатые вставки устанавливались в ОИС после сверления. Основные параметры экспериментальной установки и образцов приведены в таблице 1.

Взрывное воздействие осуществлялось с использованием заряда цилиндрической формы высотой 70 мм и диаметром 12,5 мм. Заряд свободно размещался внутри ОИС или внутри трубчатой вставки (для образцов с трубчатыми вставками). Инициирование заряда производилось с соблюдением требований безопасности.

Для имитаций напряженного состояния, приближенного к условиям горного массива, часть образцов с трубчатыми вставками перед взрывом дополнительно обжималась по всей длине металлическими хомутами [9]. Хомуты устанавливались на образец после размещения трубчатой вставки и заряда в отверстии, создавая равномерное радиальное сжатие. Это позволяло имитировать влияние горного давления на процесс трещинообразования и оценить эффективность трубчатых вставок в условиях, приближенных к натурным.

Всего было подготовлено и испытано 27 образцов, из которых:

• *7 образцов – без трубчатых вставок;*

Таблица 1

Основные параметры экспериментальной установки и образцов

Кесте 1

Эксперименттік қондырғы мен үлгілердің негізгі параметрлері

Table 1

Main parameters of the experimental setup and specimens

Параметр	Обозначение	Значение	Примечание
Материал цилиндрического образца блока	–	Бетон	Искусственный модельный массив
Типы модельных образцов	–	Без включений; с трубчатыми вставками	Сравнительный эксперимент
Материал трубчатых вставок	–	ПВХ, жесть, тонкий пластик	Моделирование зон пониженного сопротивления
Внешний диаметр трубчатых вставок	D_t	14–15 мм	ПВХ, жесть, тонкий пластик
Толщина стенки трубчатых вставок	δ	0,1–0,5 мм	ПВХ, жесть, тонкий пластик
Длина трубчатых вставок	L_t	120 мм	По глубине отверстия
Тип контрольных образцов	–	Испытательные образцы цилиндрической формы	Для определения прочности
Диаметр образцов	D_k	76 мм	Определяется формой
Высота образцов	H_k	154 мм	Определяется формой
Количество образцов	n_k	27 шт	
Конструкция формы	–	Продольный надрез + хомуты	Облегчение распалубки
Условия твердения	–	Одинаковые для всех образцов	Обеспечение сопоставимости
Метод фиксации результатов	–	Фото- и видеосъемка	До и после взрыва

• *8 образцов – с полутрубчатыми вставками (из них 3 с обжатием хомутами);*

• *8 образцов – с перфорированными трубчатыми вставками (из них 3 с обжатием хомутами);*

• *4 образца – для определения прочности бетона на сжатие.*

После взрыва проводилась фото- и видеофиксация разрушенных образцов. Для удобства визуального анализа фрагменты собирались и скреплялись скотчем, сохраняя их относительное расположение. Оценивались характер трещинообразования, количество образовавшихся фрагментов и соответствие направления трещин заданной ориентации (для образцов с трубчатыми вставками).

Результаты эксперимента

В ходе экспериментальных исследований получены данные, характеризующие разрушение бетонных цилиндрических образцов в зависимости от наличия трубчатых вставок и условий нагружения (таблица 2).

Таблица 2

Характеристики трещинообразования и смещения трубчатых вставок в зависимости от условий испытаний

Кесте 2

Сынау жағдайларына байланысты жарықшақтың түзілу және түтікшелі кірістірмелердің ығысу сипаттамалары

Table 2

Characteristics of crack formation and tubular insert displacement depending on test conditions

Группа образцов	Количество фрагментов (среднее)	Характер трещинообразования	Смещение трубчатой вставки от проектного направления
Без трубчатых вставок	3–5	Хаотичное	—
С трубчатыми вставками (без обжатия)	2–3	Преимущественно однонаправленное	До 5° по углу
С трубчатыми вставками (с обжатием)	2 (по одному с каждой стороны)	Симметричное, в обе стороны	2–4 мм (линейное смещение)

В образцах с полутрубчатыми и перфорированными трубчатыми вставками, не подвергавшихся обжатию, трещина развивалась преимущественно в одну сторону – в направлении щели или перфорации. Количество фрагментов составляло 2–3. В ряде случаев фиксировалось незначительное отклонение траектории трещины (до 5°) (рис. 4, *а*).

В образцах, обжатых металлическими хомутами, наблюдалось наиболее выраженное направленное разрушение: трещина распространялась одновременно в обе стороны от трубчатой вставки, формируя практически симметричную плоскость разрушения (рис. 4, *б*). Количество образующихся фрагментов составляло 2. При этом трубчатая вставка смещалась относительно проектного направления на 2–4 мм. Несмотря на это, общая ориентация трещин соответствовала заданному направлению, что подтверждает эффективность трубчатых вставок в условиях напряженного состояния.

а *б*

Рис. 3. а – вид торцевой поверхности бетонного образца после взрыва, б – вид торцевой поверхности обжатого металлическими хомутами бетонного образца после взрыва.
Сурет 3. а – бетон үлгісінің жарылыстан кейінгі көрінісі, б – металл қысқыштармен сығылған бетон үлгісінің жарылыстан кейінгі көрінісі.
Figure 3. a – view of the concrete specimen after explosion, b – view of the concrete specimen compressed by metal clamps after explosion.

Таким образом, использование трубчатых вставок позволяет упорядочить процесс трещинообразования, а дополнительное обжатие, имитирующее горное давление, способствует формированию симметричного разрушения и повышает точность направления трещин.

Обсуждение результатов

Полученные экспериментальные данные подтверждают, что применение трубчатых вставок (полутрубчатых и перфорированных) позволяет управлять процессом трещинообразования при взрывном воздействии на бетонные образцы. В образцах без трубчатых вставок разрушение носит хаотичный характер, что соответствует классическим представлениям о радиальном распространении трещин от зоны заряда [2].

Использование трубчатых вставок, имеющих направленное ослабление стенки (щель или перфорация), приводит к концентрации напряжений в заданном направлении. В отсутствие внешнего обжатия трещина развивается преимущественно в одну сторону, что объясняется асимметричным полем напряжений, создаваемым трубчатой вставкой. При этом энергия взрыва перераспределяется таким образом, что основная трещина формируется вдоль ослабленной образующей.

Создание напряженного состояния с помощью металлических хомутов позволяет имитировать влияние горного давления. В этих условиях трещина распространяется симметрично в обе стороны от трубчатой вставки. Это можно объяснить тем, что равномерное радиальное сжатие повышает эффективность направляющего действия трубчатой вставки: энергия взрыва не рассеивается в неконтролируемых направлениях, а концентрируется в двух противоположных направлениях, заданных конструкцией трубчатой вставки.

Небольшое смещение трубчатой вставки (2–4 мм) относительно проектного направления в обжатых образцах может быть связано с несколькими факторами: неидеальным центрированием трубчатой вставки в ОИС, локальными неоднородностями бетона, а также возможной неравномерностью затяжки хомутов. Тем не менее, отклонение не превышает 5% от диаметра образца и не нарушает общей направленности разрушения.

Сравнение результатов, полученных для полутрубчатых и перфорированных трубчатых вставок, не выявило принципиальных различий в характере трещинообразования. Оба типа трубчатых вставок показали свою эффективность в создании направленного разрушения [4]. Выбор конкретного типа может определяться технологическими соображениями (удобство изготовления, жесткость конструкции).

Следует отметить, что выявленные закономерности носят качественный характер и обусловлены масштабом физической модели, а также отличием механических свойств бетона от свойств природных горных пород. Тем не менее, результаты эксперимента позволяют сделать обоснованные выводы о тенденциях влияния трубчатых вставок на управление процессом взрывного разрушения.

Вместе с тем, полученные экспериментальные данные могут быть использованы для калибровки и верификации численных моделей взрывного разрушения, в частности при применении программного комплекса ANSYS LS-DYNA [10].

Выводы

Разработана методика физического моделирования взрывного разрушения бетонных цилиндрических образцов с использованием трубчатых вставок (полутрубчатых и перфорированных). Установлены параметры образцов (диаметр 76 мм, высота 152 мм), ОИС (диаметр 16 мм, глубина 120 мм) и заряда (диаметр 12,5 мм, высота 70 мм), обеспечивающие воспроизводимость результатов.

Экспериментально подтверждено, что образцы без трубчатых вставок разрушаются хаотично с образованием 3–5 фрагментов, тогда как использование полутрубчатых и перфорированных трубчатых вставок позволяет снизить количество фрагментов до 2–3 и обеспечить преимуще-

ственное направление трещины вдоль щели или перфорации.

Показано, что создание напряженного состояния (обжатие металлическими хомутами) способствует формированию симметричной трещины, распространяющейся в обе стороны от трубчатой вставки. При этом трубчатая вставка может смещаться относительно проектного направления на 2–4 мм, что не нарушает общей направленности разрушения.

Результаты работы могут быть использованы при разработке и оптимизации конструкций скважинных зарядов с направляющими элементами для управления трещинообразованием в горных породах, а также для калибровки численных моделей взрывного разрушения.

Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшем численном моделировании взрывного разрушения массива, а также при разработке и оптимизации параметров буровзрывных работ [10].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Жариков С.Н., Шеменев В., Кутуев В. Об особенностях производства буровзрывных работ в условиях Севера // Проблемы недропользования. 2017. № 3. С. 1–7 (на русском языке)*
2. *Джон Рид, Питер Стейси. Руководство по проектированию бортов карьера: Екатеринбург: Правовед. 2015. С. 544 (на русском языке)*
3. *Исследование взрывных повреждений: комплексное изучение профилей развития трещин при разобщенных зарядах / Carlota R.M. [и др.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2026. № 2. С. 55–80 (на английском языке)*
4. *Направленное распространение трещин и оптимизация стратегии при многозабойном (многоскважинном) кумулятивном взрывании в строительстве тоннелей / Shixiang X. [и др.] // Structures. 2025. № 72. С. 116–130 (на английском языке)*
5. *Renshu Y., Jinjing Z. Экспериментальное исследование направленного трещинообразования при взрыве патрона с прорезью // Shock and Vibration. 2019. № 1. С. 1070–1081 (на английском языке)*
6. *Влияние ширины щели в патроне на распространение трещины и концентрацию энергии при взрывной нагрузке / Xianglong L. [и др.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2024. № 58. С. 1707–1721 (на английском языке)*
7. *Neville A.M. Свойства бетона // Longman Scientific and Technical. 2011. С. 864 (на английском языке)*
8. *Камалян Р.З., Камалян С.Р., Нестерова Н.С. К вопросу о физическом моделировании взрывного разрушения горных пород // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2024. № 3. С. 18–22 (на русском языке)*
9. *Повышение энергоэффективности взрывного импульса при буровзрывных работах для улучшения качества дробления и условий конвейерной доставки вскрышных пород в карьерах и разрезах / Igbaev T.M. [и др.] // Mechanical Engineering in Transport. 2025. № 27. С. 96–108 (на английском языке)*
10. *Hallquist J.O. Теоретическое руководство LS-DYNA: Livermore Software Technology Corporation, 2006. С. 680 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Жариков С.Н., Шеменев В., Кутуев В. Солтүстік жағдайында бұрғылау-жару жұмыстарын жүргізудің ерекшеліктері туралы // Жер қойнауын пайдалану мәселелері. 2017. № 3. Б. 1–7 (орыс тілінде)*
2. *Джон Рид, Питер Стейси. Карьер жағдауларын жобалау бойынша нұсқаулық: Екатеринбург: Заңгер, 2015. Б. 544 (орыс тілінде)*
3. *Жарылыс әсерінен болатын зақымдануды зерттеу: ажыратылған зарядтар кезіндегі жарықшақтардың даму профильдерін кешенді зерттеу / Carlota R.M. [және т. б.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2026. № 2. Б. 55–80 (ағылшын тілінде)*
4. *Тоннель құрылысында көп ұңғымалы пішінді зарядтармен жарудағы бағытталған жарықшақтардың таралуы және олардың стратегияларын оңтайландыру / Shixiang X. [және т. б.] // Structures. 2025. № 72. Б. 116–130 (ағылшын тілінде)*
5. *Renshu Y., Jinjing Z. Ашық саңылауы бар патронды қолданып бағытталған жарықшақшандыру арқылы жаруды эксперименттік зерттеу // Shock and Vibration. 2019. № 1. Б. 1070–1081(ағылшын тілінде)*
6. *Жарылыс жүктемесі кезінде патрондағы саңылау енінің жарықшақтардың таралуына және энергия концентрациясына әсері / Xianglong L. [және т. б.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2024. № 58. Б. 1707–1721 (ағылшын тілінде)*
7. *Neville A.M. Бетонның қасиеттері // Longman Scientific and Technical. 2011. Б. 864 (ағылшын тілінде)*
8. *Камалян Р.З., Камалян С.Р., Нестерова Н.С. Тау жыныстарын жарылыспен бұзуды физикалық модельдеу мәселесі туралы // Өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздік жөніндегі ВостНИИ ғылыми орталығының хабаршысы. 2024. № 3. Б. 18–22 (орыс тілінде)*
9. *Карьерлер мен тіліктерде бұрғылау-жару жұмыстары кезінде жарылыс импульсінің энергия тиімділігін арттыру, үгіту сапасын және бос тау жыныстарын конвейермен жеткізу*

жағдайларын жақсарту / Igbaev T.M. [және т. б.] // Mechanical Engineering in Transport. 2025. № 27. Б. 96–108 (ағылшын тілінде)
10. *Hallquist J.O. LS-DYNA теориялық нұсқаулығы: Livermore Software Technology Corporation, 2006. Б. 680 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Zharikov S.N., Shemenev V., Kutuyev V. Ob osobennostjah proizvodstva burovzryvnyh rabot v uslovijah Severa [On the Features of Drilling and Blasting Operations in the North], Problemy nedropol'zovanija [Problems of Subsoil Use]. 2017. No. 3. 1–7 pp. (in Russian)*
2. *John Read, Peter Stacey. Rukovodstvo po proektirovaniju bortov kar'era [Guidelines for open pit slope design]. Yekaterinburg: Pravoved, 2015. 544 p. (in Russian)*
3. *Investigating Blast-Induced Damage: A Comprehensive Study of Crack Development Profiles Under Decoupled Charges / Carlota R.M. [et al.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2026. No. 2. 55–80 pp. (in English)*
4. *Directional crack propagation and optimization strategies for multi-hole shaped charge blasting in tunnel construction / Shixiang X. [et al.] // Structures. 2025. No. 72. 116–130 pp. (in English)*
5. *Renshu Y., Jinjing Z. Experimental Study on Directional Fracture Blasting of Cutting Seam Cartridge // Shock and Vibration. 2019. No. 1. 1070–1081 pp. (in English)*
6. *Influence of Slot Width in Cartridge on Crack Propagation and Energy Concentration Under Explosion Load / Xianglong L. [et al.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2024. No. 58. 1707–1721 pp. (in English)*
7. *Neville A.M. Properties of concrete // Longman Scientific and Technical. 2011. 864 p. (in English)*
8. *Kamalyan R.Z., Kamalyan S.R., Nesterova N.S. K voprosu o fizicheskom modelirovanii vzryvnogo razrushenija gornyh porod [On the issue of physical modeling of explosive destruction of rocks], Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i jekologicheskoj bezopasnosti [Bulletin of the Scientific Center of VostNII for Industrial and Environmental Safety]. 2024. No. 3. 18–22 pp. (in Russian)*
9. *Improving the energy efficiency of the explosive pulse during drilling and blasting operations to increase the quality of crushing and conditions for conveyor delivery of overburden rocks in quarries and sections / Igbaev T.M. [et al.] // Mechanical Engineering in Transport. 2025. No. 27. 96–108 pp. (in English)*
10. *Hallquist J.O. LS-DYNA theory manual: Livermore Software Technology Corporation, 2006. 680 p. (in English)*

Сведения об авторах:
Мустафин С.А., докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *saken.mustafin.89@gmail.com;* https://orcid.org/0000-0002-3811-990X
Хусан Б., Ph.D, и. о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *hbolat@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0003-0996-348X
Зейтинова Ш.Б., Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *zeitinova_rmpi@mail.ru*; https://orcid.org/0000-0002-3489-8969
Iphar M., Ph.D, профессор кафедры «Горное дело» Эскишехирского университета Османгазы (г. Эскишехир, Турция), *miphar@ogu.edu.tr*; https://orcid.org/0000-0003-1202-6497

Авторлар туралы мәліметтер:
Мустафин С.А., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)
Хусан Б., Ph.D, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының доцент м. а. (Қарағанды қ., Қазақстан)
Зейтинова Ш.Б., Ph.D, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)
Iphar M., Ph.D, «Эскишехир Османгазы университеті», «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры (Эскишехир қ., Түркия)

Information about the authors:
Mustafin S., doctoral student of the Department «Development of mineral deposits» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Khussan B., Ph.D, acting associate professor at the Department of «Development of mineral deposits» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Zeitinova Sh., Ph.D, associate professor of the Department «Development of mineral deposits» NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)
Iphar M., Ph.D, professor of the Department «Mining Engineering», «Eskisehir Osmangazi University» (Eskisehir, Turkey)