

Код МРНТИ 52.13.21

*А.С. Турдалиева^{1,2}, Б.Р. Ракишев¹, Р.В. Гаврилко²
¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),
²ТОО «НПП «Интеприн» (г. Алматы, Казахстан)

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОПЛОТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Аннотация. В данной статье рассмотрено применение низкоплотных ВВ (взрывчатых веществ), используемых для проведения взрывных работ при отработке контурных скважин для обеспечения устойчивости бортов карьера на открытых горных работах. Также рассмотрены особенности детонации низкоплотных ВВ, распределение ударной волны по массиву горной породы и распределению ударной волны по самой колонке заряда ВВ, предлагается альтернативный состав и метод изготовления ВВ для данного вида работ с применением принципиально нового подхода к использованию аммиачно-селитренных ВВ. Результаты исследований позволяют подтвердить преимущество применения низкоплотных ВВ на основе дробленой аммиачной селитры с добавлением значительного количества разуплотняющей добавки как при взрывании контурных скважин, так и при проведении вскрышных взрывных работ.

Ключевые слова: низкоплотные взрывчатые вещества, контурное взрывание, дробленый окислитель, технология, изготовление взрывчатых веществ.

Төмен тығыздықтағы жарылғыш заттар жасау және қолдану

Аннотация. Бұл мақалада ашық тау-кен жұмыстарында карьер бортының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін контурлық ұңғымаларды өңдеу кезінде жарылғыс жұмыстарын жүргізу үшін пайдаланылатын төмен тығыздықтағы ЖЗ қолдану қарастырылған. Сондай-ақ, төмен тығыздықтағы ЖЗ детонациясының ерекшеліктері, тау жыныстарының массиві бойынша соққы толқынының таралуы және ЖЗ зарядының бағанының өзі бойынша соққы толқынының таралуы қарастырылады, аммиак-селитралық ЖЗ-ды қолданудың түбегейлі жаңа тәсілін қолдана отырып, жұмыстың осы түрі үшін ЖЗ жасаудың балама құрамы мен әдісі ұсынылады. Зерттеу нәтижелері контурлық ұңғымаларды жару кезінде де, аршу жару жұмыстарын жүргізу кезінде де қоспытқыш қоспаның едәуір мөлшерін қосып, ұсақталған аммиак селитрасы негізінде төмен тығыздықты ЖЗ қолданудың артықшылығын растауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: төмен тығыздықтағы, жарылғыш зат, контурлық жарылыс, ұсақталған тотықтырғыш, технология, жарылғыш заттардың жасауы.

Development and application of low-density explosives

Abstract. This article discusses the use of low-density explosives used for blasting operations during drilling of contour wells to ensure the stability of the sides of the quarry in open-pit mining. The features of detonation of low-density explosives, the distribution of the shock wave over the rock mass and the distribution of the shock wave over the explosive charge column itself are also considered, and an alternative composition and method of manufacturing explosives for this type of work is proposed, using a fundamentally new approach to the use of ammonium nitrate explosives. The results of the study allow us to confirm the advantage of using low-density explosives based on crushed ammonium nitrate with the addition of a significant amount of decompression additive both during the blasting of contour wells and during overburden.

Key words: low-density explosives, contour detonation, crushed oxidizer, technology, manufacture of explosives.

Введение

Одним из перспективных направлений ведения щадящих взрывных работ при открытой добыче полезных ископаемых может стать применение низкоплотных ВВ сенсублизованными легкими малопрочными гранулами, например, гранулами полистирола. Экспериментально доказано, что ВВ, сенсублизованные гранулами пенополистирола, допускают ручное и механизированное зарядание скважин и несмотря на низкую плотность, сохраняют способность к детонационному разложению ВВ.

ВВ, сенсублизованные гранулами пенополистирола, позволяют формировать скважинный заряд, практически не подверженный усадке под действием гидростатического давления, а из-за малых плотностей ВВ следует ожидать низкий уровень давления взрывных газов в скважине, что благоприятно влияет на результаты при щадящем взрывании [1].

Особенности детонации низкоплотных ВВ

Ряд исследований показывает, что в низкоплотных ВВ, полученных при смешении окислителя с горючим с добавлением значительной части разуплотняющей добавки, например, такой как полистирол, возбуждение детонации происходит под действием высокоэнтальпийного газового потока, фильтрующегося из области высокого давления. При этом химическая реакция происходит в форме поверхностного горения частиц ВВ, взаимодействующих с потоком газа, исходящим из области высокого давления. Поток взрывных газов вызывает в воздухе, находящемся между гранулами и разуплотнителем, ударную волну. Данная ударная волна и следующий за ней поток горючих взрывных газов, обтекающих частицы окислителя, приобретает струйный характер (рис. 1). Если данные частицы вспыхнут за время меньше, нежели продолжительность

процесса разложения ВВ в зоне активной химической реакции, то распространение взрывного процесса по низкоплотному ВВ будет определяться скоростью распространения данного зажигательного процесса (рис. 2) [2].

Контурное взрывание под названием «гладкое взрывание» начали применять с 50-х годов в Швейцарии. В более широком масштабе оно было применено в 1952–1953 гг. при строительстве гидротехнических сооружений. Суть технологии заключается в бурении и взрывании скважин с уменьшенным зарядом ВВ вдоль линии контура выработки после заряда рыхления [3].

В настоящее время в области контурного взрывания существуют нерешенные задачи, которые представляются актуальными. Решение этих задач целесообразно проводить комплексно на основе моделирования процессов контурного взрывания, используя и совершенствуя методики бурения, а также применяемых составов ВВ [4].

Ранее выполненные исследования в работе И.Ю. Маслова по оценке характеристик плотности ЭВВ (эмульсионных взрывчатых веществ), сенсублизованных гранулами полистирола, показали, что детонационные процессы ЭВВ при плотностях 0,9 г/см³ существенно ниже, чем аналогичные показатели для ЭВВ, сенсублизованные газовыми порами. Показано, что при плотности рассматриваемых ЭВВ более 0,75 г/см³ возбуждение ВВ осуществляется вследствие разогрева в ударной волне вещества матричной эмульсии при втекании его в коллапсирующие поверхностные поры гранулы полистирола [5].

Упомянутые низкоплотные ЭВВ с плотностью менее 0,75 г/см³, сенсублизованные гранулами пенополистирола, представляют значительный интерес для разработки технологий при проведении взрывных работ по заоткоске

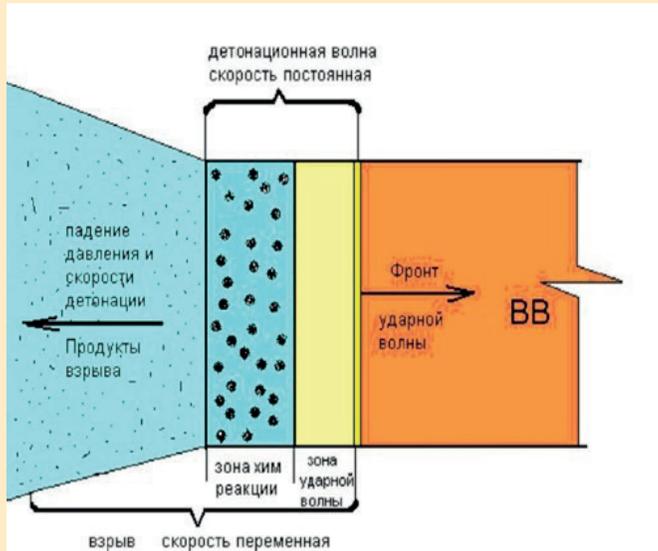


Рис. 1. Распространение фронта ударной волны в ВВ, не имеющих разуплотняющую добавку.

Сурет 1. Тығыздағыш қоспасы жоқ жарылғыш заттың соққы толқынының таралуы.

Figure 1. Propagation of the shock wave front in explosives without a decompression additive.

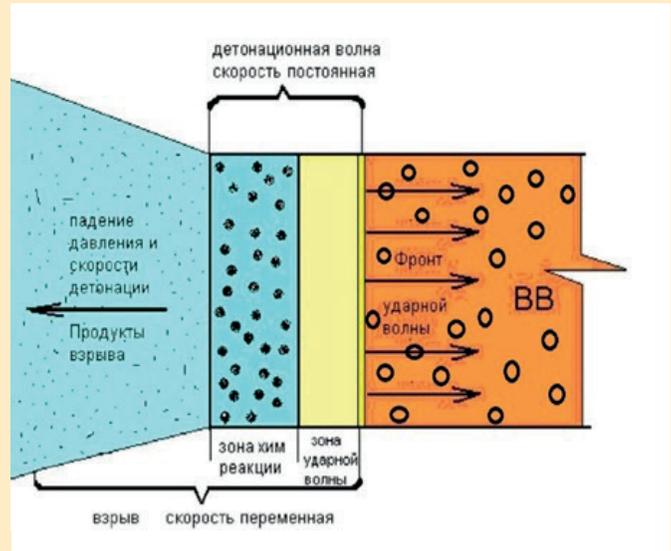


Рис. 2. Распространение фронта ударной волны в ВВ, имеющих разуплотняющую добавку.

Сурет 2. Тығыздағыш қоспалары бар жарылғыш заттардың соққы толқынының таралуы.

Figure 2. Propagation of the shock wave front in explosives having decompression additives.

бортов карьера или при добыче горных пород, содержащих ценные хрупкие включения [6].

В основе своей все проведенные исследования связаны с разуплотнением самой водомасляной эмульсии или смесей на ее основе, что может значительно повлиять на финансово-экономические параметры ВВ, особенно связанные с проведением контурного взрывания, где не требуется применение таких высокотехнологичных составов [7].

Компания ТОО «НПП «Интеррин», занимающая одно из передовых мест в области разработки смесевых промышленных ВВ и оборудования для их производства, имеющая многолетний опыт проведения БВР в разных условиях и с разной степенью сложности залегания геологических масс, занимается разработкой собственных видов промышленных ВВ.

В последнее время на горнодобывающих предприятиях РК все больше внимания уделяется безопасной работе в карьерах, прикарьерной зоне на возможные места обрушения породы с бортов, что требует проведения работ, связанных с созданием безопасного контура уступов на карьере. Также немаловажную роль при проведении данных работ составляют экономические параметры применяемых ВВ.

На основании изученного опыта используемых ВВ для контурного взрывания, при щадящем взрывании для вскрышных работ и пород с крепостью менее 12 по шкале Протодьяконова М.М. компания ТОО «НПП «Интеррин» разработала низкоплотный состав ВВ.

ВВ, получившее название Интерит ДН, относится по условиям применения согласно классификации технического регламента Таможенного Союза «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе» к первому классу – неперехранительные взрывчатые вещества для

взрывания на земной поверхности и предназначен для ручного и механизированного заряжания скважин.

Предмет исследования

Предметом исследования является низкоплотное ВВ на основе дробленой аммиачной селитры для щадящего взрывания горного массива и контурного взрывания.

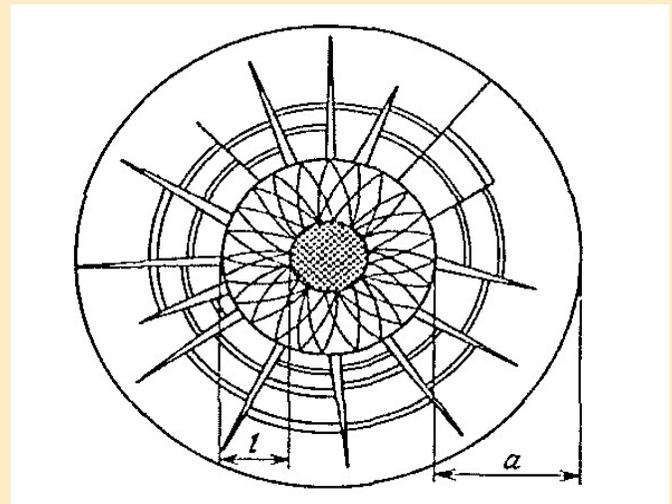


Рис. 3. Схема распределения ударной волны при взрыве ВВ в скважине: t – зона сжатия (переизмельчения), a – зона разрыхления.

Сурет 3. Ұңғымадағы жарылыс кезінде соққы толқынының таралуы сызбасы: t – қысу аймағы (қайта ұнтақтау), a – қосыту аймағы.

Figure 3. Diagram of the shock wave distribution during an explosive explosion in a borehole: t – is the compression zone (over-grinding), a – is the loosening zone.

Удельную энергию ВВ во взрываемом массиве при неизменном объеме бурения можно регулировать объемной энергией заряда, так как часть энергии взрыва расходуется на переизмельчение взрывающей горной массы в месте непосредственного контакта ВВ с породой, вызывая обильное пылеобразование и переизмельчение [8].

Основным источником энергии в составах взрывчатых веществ является аммиачная селитра как наиболее дешевый и доступный окислитель, имеющий насыпную плотность 0,9 г/см³, но при этом плотность гранулы составляет 1,4 г/см³, выделяя при взрыве 1 кг аммиачной селитры 900 л газа.

Суть применения ВВ Интерит ДН заключается в следующем – использовать дробленую аммиачную селитру в смеси с горючим и разуплотняющей добавкой в виде вспененного пенополистирола. То есть энергию, содержащуюся в самом ВВ, равномерно распределить по всему объему скважины, значительно уменьшив влияние ударной волны в зоне А (рис. 3), тем самым сократив пылеобразование и переизмельчение горной массы в зоне t .

Для оценки эффективности применения ВВ Интерит ДН можно использовать следующую формулу для расчета объема газа, выделяемого при взрыве [4]:

$$V_g = n \times V_{\text{гранулы}}, \quad (1)$$

где V_g – общий объем газа, выделяемого при взрыве;

n – количество гранул в 1 кг аммиачной селитры;

$V_{\text{гранулы}}$ – объем газа, выделяемого одной гранулой.

Известно, что 1 кг аммиачной селитры выделяет 900 л газа. Определим количество гранул в 1 кг, учитывая их плотность:

$$n = \frac{m}{\rho * v},$$

где m – масса аммиачной селитры (1 кг);

ρ – плотность гранулы аммиачной селитры (1,4 г/см³).

Объем одной гранулы можно выразить через ее насыпную плотность:

$$V = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1,4} = \frac{1}{1400} = 0,000714 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Таким образом, при взрыве 1 кг аммиачной селитры выделяется 0,714 м³ газа. Это соответствует объему 714 л, что близко к заявленным 900 л (разница обусловлена упрощением расчетов и фактическими условиями).

Пример использования дробленой аммиачной селитры в смеси с горючим и разуплотняющей добавкой показывает, как энергия, содержащаяся в самом ВВ, может быть равномерно распределена по всему объему скважины, что позволяет снизить влияние ударной волны и улучшить контроль над процессом взрыва, уменьшая переизмельчение горной массы [9].

Технология изготовления заключается в следующем (рис. 4). На валковую дробилку (1) из бункера (2) подается гранулированная аммиачная селитра, проходя через валки с регулируемым зазором попадает в спиральный конвейер (3), по шнековому транспортеру аммиачная

селитра попадает в дозатор, при заполнении которого дробилка и шнек отключаются автоматически. Из дозатора АС подается в смеситель (4), после чего в него подается необходимое количество горючего и разуплотняющей добавки, смешивается и фасуется в мешки.

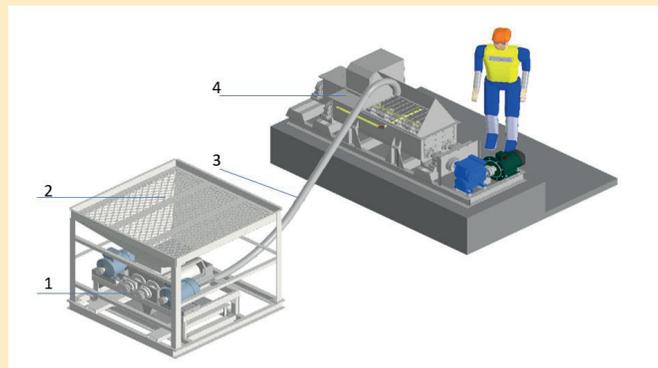


Рис. 4. Схема изготовления Интерита ДН.
Сурет 4. Ұнтақталған потрондалмаған Интериттің жасалу схемасы.
Figure 4. Manufacturing scheme of Crushed, non-tinned Interit.

Структура насыпных гранулированных зарядов предполагает случайность пространственного распределения гранул ВВ и разуплотняющей добавки, а также неравномерное покрытие гранул аммиачной селитры горючим. Поэтому фронт детонационной волны непременно будет неоднородным и на поверхности гранул неизбежны в том числе и конвективные явления, где конвективное горение переходит в низкоскоростную детонацию [9]. Исследования показывают, что исключение составила смесь тонкоизмельченного нитрита аммония, для которой горение завершилось взрывом с резкими колебаниями давления и температуры [10].

Присутствие в составе ВВ дробленого окислителя в разы увеличивает площадь контракта, соприкосновение окислителя и горючего тем самым дает возможность полностью вступить в химическую реакцию взрывного превращения компонентов ВВ с выделением меньшего количества ядовитых газов, нежели чем при использовании гранулированных ВВ, где химическая реакция в основном протекает на поверхности гранул с поледующим переходом во взрывное горение.

Также использование Интерита ДН за счет применения дробленого окислителя в совокупности с пенополистиролом позволяет равномерно перераспределить ВВ по всему объему скважины, значительно сократив высоту недозаряда, но сохраняя расчетный удельный расход ВВ, что позволяет значительно снизить выход негабарита и не нарушить целостность борта карьера [10].

Проведение полигонных испытаний на предмет зависимости скорости детонации от плотности ВВ

Для проведения полигонных испытаний были взяты 4 состава ВВ с содержанием пенополистирола 20, 30, 40, 50% на основе дробленой аммиачной селитры с дизельным топливом в соотношении 95% – аммиачная селитра, 5% – дизельное топливо.

Замер скорости детонации проводился при помощи прибора ИСД-1 (рис. 5). Испытание проводилось в металлических трубах диаметром 100 мм, длиной 1500 мм (рис. 6).



**Рис. 5. Измеритель скорости детонации ИСД-01.
Сурет 5. Детонация жылдамдығын өлшегіш.
Figure 5. Knock velocity meter.**



**Рис. 6. Заряд ВВ с подключенными датчиками.
Сурет 6. Датчиктер қосылған жарылғыш заряд.
Figure 6. Explosive charge with connected sensors.**

**Таблица 1
Результаты замера скорости детонации**

**Table 1
Results of measuring detonation velocity**

**Кесте 1
Детонация жылдамдығын өлшеу нәтижелері**

Содержание полистирола (%)	Плотность ВВ (г/см ³)	Скорость детонации (м/с)
20	1,1	3800
30	0,9	3200
40	0,7	2900
50	0,5	2600

Из проведенных замеров скорости детонации получена прямо пропорциональная зависимость падения скорости детонации от плотности (рис. 7). То есть, данный состав является универсальным, подстраиваемым под широкий спектр задач, таких как взрывание обычных блоков, для щадящего взрывания горного массива, а также для контурного взрывания в целях достижения максимального приближения фактического профиля выработок к проектному при соблюдении сохранности окружающего массива горных пород.

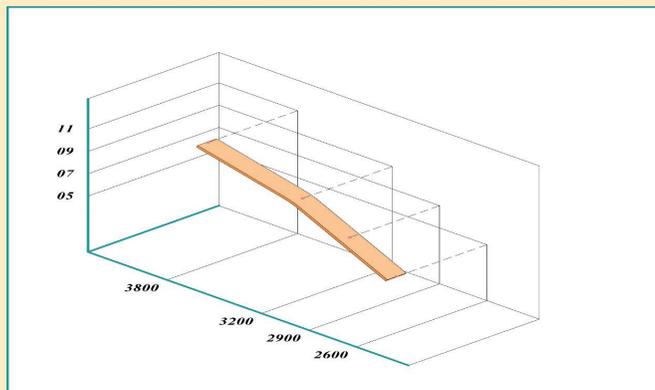


Рис. 7. Зависимость скорости детонации от плотности ВВ.

Сурет 7. Детонация жылдамдығының жарылғыштығыздығына тәуелділігі.

Figure 7. Dependence of detonation speed on explosive density.

Из табличных данных видно, что ВВ Интерит ДН по своим физико-химическим характеристикам ничем не уступает применяемому штатным ВВ в горнодобывающей промышленности, что подтверждает широкий спектр его применения для выполнения разных задач. Регулируя плотность ВВ Интерит ДН количеством вводимого пенополистирола, можно изготавливать ВВ с плотностью от 1,1 г/см³ до 0,6 г/см³, что придает этому составу универсальность.

Также за счет применения в составе дробленой аммиачной селитры не происходит сегрегация (разделение частиц) между частицами аммиачной селитры и гранулами

Таблица 2

Сравнительные характеристики неводостойчивых промышленных ВВ

Кесте 2

Өндірістік жарылғыш заттардың салыстырмалы сипаттамасы

Table 2

Comparative characteristics of non-waterproof industrial explosives

Наименование ВВ	Кислородный баланс, %	Теплота взрыва, кДж/кг	Плотность ВВ, г/см ³	Объем газов, л/кг	Скорость детонации, м/с
Интерит ДН 20% ПП	-2	3680	1,1	989	3800
Гранулит А6	-1,2	4400	0,9	880	4000
Игдарин ЭГ	+0,1	3600	0,9	948	3800
Игдарин ЭГА	+0,44	3900	0,9	925	4000
Игданит	0	3700	1	980	2700
Интерит 20	-1,9	3400	1,1	970	3900

пенополистирола. А так как скорость детонации ВВ в основном прямо пропорциональна его плотности, в результате уменьшения плотности достигается не только уменьшение концентрации энергии взрыва в единице объема, но и уменьшается скорость этого энерговыделения.

Заклучение

В ходе исследования получен состав на основе дробленой аммиачной селитры, горючего и вспененного полистирола. Испытания показали хорошую эффективность применения данного состава при контурном взрывании и при проведении вскрышных взрывных работ с крепостью породы меньше 12 по шкале М.М. Протодряконова. Необходимо отметить экономическую

составляющую применения данного состава, где 30% аммиачной селитры заменено разуплотняющей добавкой в виде полистирола. Все это позволяет с уверенностью говорить об эффективности и безопасности применения Интерита ДН на горнорудных предприятиях Республики Казахстан при проведении вскрышных и контурных взрывных работ.

Заклучение нашего исследования подчеркивает важность внедрения инновационных технологий в горнодобывающей отрасли. Использование данного состава не только повышает эффективность взрывных работ, но и снижает затраты на материалы. Кроме того, применение полистирола в качестве добавки способствует улучшению экологической безопасности процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ракишев Б.Р. Автоматизированное проектирование и производство массовых взрывов на карьерах: Алматы, Гылым, 2016, С. 59–72 (на русском языке)
2. Основы горного дела: учебник. / М.Ж. Битимбаев, Т. Кабетенев. Ассоциация высших учебных заведений РК, Алматы, 2011, С. 47–53 (на русском языке)
3. Юношев А.С. Скорость детонации эмульсионного вещества, сенсibilизированного полимерными микросферами. / А.С. Юношев, А.В. Пластинин, С.И. Рафейчик. // Физика горения и взрыва. 2017. Т. 53. № 6. С. 132–137 (на русском языке)
4. Маслов И.Ю. Низкоплотные эмульсионные взрывчатые вещества: определение и особенности детонации. / И.Ю. Маслов, С.А. Горинов. // Горный журнал. 2017. № 8. С. 72–78 (на русском языке)
5. Юношев А.С. Влияние искусственных пор на параметры детонации эмульсионных взрывчатых веществ. / А.С. Юношев, В.В. Сильвестров, А.В. Пластинин, С.И. Рафейчик. // Физика горения и взрыва. 2007. Т. 57. № 2. С. 89–93 (на русском языке)
6. Уткан А.В. Неустойчивость детонационных волн в нитрометане. / А.В. Уткан, В.М. Моголова, С.И. Торуннов, С.А. Колдунов. // Физика горения и взрыва. 2015. Т. 51. № 4. С. 43–45 (на русском языке)
7. Круз К. Эволюция полости в дисперсии частиц. / К. Круз, Д.М. Фариа. // Физика жидкостей. 2020. Т. 34. № 7. С. 13–15 (на английском языке)
8. Браун А. О кинетике химических реакций на фронте детонации. / А. Браун, Дж. Смит. // Физика жидкостей. 2018. Т. 34. № 8. С. 26–28 (на английском языке)
9. Ван Т. Детонационные свойства эмульсионных взрывчатых веществ различной плотности. / Т. Ван, Ю. Чжао. // Журнал энергетических материалов. 2019. Т. 37. № 4. С. 451–463 (на английском языке)

10. Джонсон М. Влияние размера частиц на детонационные характеристики взрывчатых веществ низкой плотности. / М. Джонсон, Р. Дэвис. // Журнал прикладной физики. 2021. Т. 129. № 12. С. 72–79 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Рақышев Б.Р. Карьерлердегі жаппай жарылыстарды автоматтандырылған жобалау және өндіру: Алматы, Ғылым, 2016, Б. 59–72 (орыс тілінде)
2. Тау-кен ісі негіздері: оқулық. / М.Ж. Битимбаев, Т. Кабетенов. ҚР жоғары оқу орындарының қауымдастығы, Алматы, 2011, Б. 47–53 (орыс тілінде)
3. Юношев А.С. Полимерлі микросфералармен сенсублизацияланған эмульсиялық заттың детонация жылдамдығы. / А.С. Юношев, А.В. Пластинин, С.И. Рафейчик. // Жану және жарылыс физикасы. 2017. Т. 53. № 6. Б. 132–137 (орыс тілінде)
4. Маслов И.Ю. Төмен тығыздықтағы эмульсиялық жарылғыш заттар: детонацияның анықтамасы мен ерекшеліктері. / И.Ю. Маслов, С.А. Горинов. // Тау журналы. 2017. № 8. Б. 72–78 (орыс тілінде)
5. Юношев А.С. Жасанды кеуектердің эмульсиялық жарылғыш заттардың детонация параметрлеріне әсері. / А.С. Юношев, В.В. Сильвестров, А.В. Пластинин, С.И. Рафейчик. // Жану және жарылыс физикасы. 2007. Т. 57. № 2. Б. 89–93 (орыс тілінде)
6. Уткан А.В. Нитрометандағы детонациялық толқындардың тұрақсыздығы. / А.В. Уткан, В.М. Моголова, С.И. Торуннов, С.А. Колдунов. // Жану және жарылыс физикасы. 2015. Т. 51. № 4. Б. 43–45 (орыс тілінде)
7. Круз К. Бөлшектердің дисперсиясындағы қуыс эволюциясы. / К. Круз, Д.М. Фариа. // Сұйықтық физикасы. 2020. Т. 34. № 7. Б. 13–15 (ағылшын тілінде)
8. Браун А. Детонация майданындағы химиялық реакциялардың кинетикасы туралы. / А. Браун, Дж. Смит. // Сұйықтық физикасы. 2018. Т. 34. № 8. Б. 26–28 (ағылшын тілінде)
9. Ван Т. Әр түрлі тығыздықтағы эмульсиялық жарылғыш заттардың детонациялық қасиеттері. / Т. Ван, Ю. Чжао. // Энергетикалық материалдар журналы. 2019. Т. 37. № 4. Б. 451–463 (ағылшын тілінде)
10. Джонсон М. Төмен тығыздықтағы жарылғыш заттардың детонациялық сипаттамаларына бөлшектер мөлшерінің әсері. / М. Джонсон, Р. Дэвис. // Қолданбалы физика журналы. 2021. Т. 129. № 12. Б. 72–79 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Rakishev B.R. Avtomatizirovannoe proektirovanie i proizvodstvo massovykh vzryvov na kar'erakh: Almaty, Gylym, 2016, S. 59–72 [Rakishev B.R. Computer-aided design and production of mass explosions in quarries. Theory of rock mass destruction by explosion: Almaty, Gylym, 2016, P. 59–72] (in Russian)
2. Osnovy gornogo dela: uchebnik. / M.Zh. Bitimbaev, T. Kabetenov. Assotsiatsiya vysshikh uchebnykh zavedenii RK, Almaty, 2011, S. 47–53 [Fundamentals of mining: textbook. / M.J. Bitimbayev, T. Kabetenov. Association of Higher Educational Institutions of the Republic of Kazakhstan, Almaty, 2011, P. 47–53] (in Russian)
3. Yunoshev A.S. Skorost' detonatsii emul'sionnogo veshchestva, sensibilizirovannogo polimernymi mikrosferami. / A.S. Yunoshev, A.V. Platinin, S.I. Rafeichik. // Fizika goreniya i vzryva. 2017. T. 53. № 6. S. 132–137 [Yunoshev A.S. Detonation rate of emulsion substance sensitized by polymer microspheres. / Yunoshev A.S., Platinin A.V., Rafeichik S.I. // Physics of combustion and explosion. 2017. V. 53. № 6. P. 132–137] (in Russian)
4. Maslov I.Yu. Nizkoplotnye emul'sionnye vzryvchatye veshchestva: opredelenie i osobennosti detonatsii. / I.Yu. Maslov, S.A. Gorinov. // Gornyi zhurnal. 2017. № 8. S. 72–78 [Maslov Y.U. Low density emulsion explosives: definition and features of detonation. / Maslov Y.U., Gorinov S.A. // Mining magazine. 2017. № 8. P. 72–78] (in Russian)
5. Yunoshev A.S. Vliyaniye iskustvennykh por na parametry detonatsii emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv. / A.S. Yunoshev, V.V. Sil'vestrov, A.V. Platinin, S.I. Rafeichik. // physics of combustion and explosion. 2007. T. 57. № 2. S. 89–93 [Molodev A.S. The effect of artificial pores on the detonation parameters of emulsion explosives. / Molodev A.S., Silvestrov V.V., Platinin A.V., Rafeichik S.I. // Physics of combustion and explosion. 2007. V. 57. № 2. P. 89–93] (in Russian)
6. Utkan A.V. Neustoichivost' detonatsionnykh voln v nitrometane. / A.V. Utkan, V.M. Mogalova, S.I. Torunov, S.A. Koldunov. // Fizika goreniya i vzryva. 2015. T. 51. № 4. S. 43–45 [Utkan A.V. Instability of detonation waves in nitromethane. / Utkan A.V., Mochalova V.M., Torunov S.I., Koldunov S.A. // Physics of combustion and explosion. 2015. V. 51. № 4. P. 43–45] (in Russian)
7. Cruz C. Evolution of the cavity in a particle dispersion. / Cruz C., Faria D.M. // Physics of Fluids. 2020. V. 34. № 7. P. 13–15 (in English)

8. *Brown A. On the kinetics of chemical reactions at the detonation front. / Brown A., Smith J. // Physics of Fluids. 2018. V. 34. № 8. P. 26–28 (in English)*
9. *Wang T. Detonation properties of emulsion explosives with different densities. / Wang T., Zhao Y. // Journal of Energetic Materials. 2019. V. 37. № 4. P. 451–463 (in English)*
10. *Johnson M. Influence of particle size on the detonation characteristics of low-density explosives. / Johnson M., Davis R. // Journal of Applied Physics. 2021. V. 129. № 12. P. 72–79 (in English)*

Сведения об авторах:

Турдалиева А.С., магистр технических наук, докторант 2-го курса кафедры «Горное дело» Satbayev University, инженер-технолог, ТОО «Научно-производственное предприятие «Интеррин» (г. Алматы, Казахстан), altynaiym.turdaliyeva@interrin.kz; <https://orcid.org/0009-0001-2919-3518>

Ракишев Б.Р., д.т.н., профессор кафедры «Горное дело», академик НАН РК, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), b.rakishev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-5445-070X>

Гаврилко Р.В., главный технолог, ТОО «Научно-производственное предприятие «Интеррин» (г. Алматы, Казахстан), roman.gavrilko@interrin.kz; <https://orcid.org/0009-0001-8688-2651>

Авторлар туралы мәліметтер:

Турдалиева А.С., техника ғылымдарының магистрі, Satbayev University, «Тау-кен ісі» кафедрасының 2-ші курс докторанты, ЖШС «Ғылыми-өндірістік кәсіпорны «Интеррин» инженер-технологы (Алматы қ., Қазақстан)

Ракишев Б.Р., т.ғ.д., «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры, ҚР ҰҒА академигі, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Гаврилко Р.В., бас технологы, ЖШС «Ғылыми-өндірістік кәсіпорны «Интеррин» (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Turdaliyeva A.S., Master of Technical Sciences, 2nd year doctoral student of the Mining Department, technological engineer, «Scientific and Production Enterprise «Interrin» LLP (Almaty, Kazakhstan)

Rakishev B.R., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Mining Department, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Gavrilko R.V., Chief Technologist, «Scientific and Production Enterprise «Interrin» LLP, (Almaty, Kazakhstan)

XXXIII Международная специализированная
выставка технологий горных разработок

УГОЛЬ и МАЙНИНГ РОССИИ



XV Международная специализированная выставка

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

X Международная специализированная выставка

НЕДРА РОССИИ

VI Специализированная выставка

ПРОМТЕХЭКСПО

3-6 июня 2025



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
Выставочный комплекс «Кузбасская ярмарка»,
ул. Автотранспортная, 51, г. Новокузнецк,
т: 8 (800) 500-40-42

**ШИРЕ, ЧЕМ КУЗБАСС!
ГЛУБЖЕ, ЧЕМ УГОЛЬ!**

