

Код МРНТИ 52.13.21

*С.В. Алешкова^{1,2}, И.А. Пустовалов¹, Т.Б. Нашауов^{1,2}, В.Е. Зарко³¹ТОО «Экспертно-сертификационный центр взрывчатых материалов» (г. Алматы, Республика Казахстан),²Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы, Республика Казахстан),³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия)

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭМУЛЬСИОННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ПИРИТСОДЕРЖАЩИМИ РУДАМИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Настоящая работа посвящена оценке возможности использования безоболочных эмульсионных взрывчатых веществ с температурой около 60 °С при ведении взрывных работ на месторождениях Карагандинской области, где встречаются горные породы, агрессивность которых обусловлена содержанием серы и ее химических соединений. Актуальность исследования обусловлена риском снижения термохимической стабильности взрывчатых веществ на основе нитрата аммония при их контакте с пиритсодержащими рудами, что может приводить к незапланированным экзотермическим реакциям. В рамках исследования проведен рентгеноспектральный микроанализ и рентгенофазовый анализ для определения минерального и элементного состава, а также выполнены термические испытания. В результате исследования были разработаны мероприятия по промышленной безопасности, применительно и для аналогичных месторождений Республики Казахстан.

Ключевые слова: пиритсодержащая руда, эмульсионное взрывчатое вещество, термогравиметрический анализ (ТГА), химическая совместимость, нитрат аммония, самопроизвольное разложение, промышленная безопасность.

Қарағанды облысы кен орындарының пириттерді қамтитын кендерімен эмульсиялық өндірістік жарылғыш заттардың химиялық үйлесімділігін бағалау

Аннотация. Осы жұмыс Қарағанды облысының кен орындарында, құрамында күкірт және оның химиялық қосылыстары бар тау жыныстары кездесетін жағдайларда, температурасы шамамен 60 °С болатын қабықшасыз эмульсиялық өнеркәсіптік жарылғыш заттарды жару жұмыстарында қолдану мүмкіндігін бағалауға арналған. Зерттеудің өзектілігі пиритқұрамды кендермен жанасу кезінде аммоний нитраты негізіндегі жарылғыш заттардың термохимиялық тұрақтылығының төмендеу қаупімен байланысты, бұл жоспардан тыс экзотермиялық реакцияларға әкелуі мүмкін. Зерттеу аясында минералдық және элементтік құрамды анықтау үшін рентгеноспектралдық микроанализ және рентгенфазалық талдау жүргізілді, сондай-ақ термиялық сынақтар орындалды. Зерттеу нәтижесінде Қазақстан Республикасындағы ұқсас кен орындары үшін де қолдануға болатын өнеркәсіптік қауіпсіздік шаралары әзірленді.

Түйінді сөздер: пиритті руда, эмульсиялық жарылғыш зат, термогравиметриялық талдау, химиялық үйлесімділік, аммоний нитраты, өздігінен ыдырау, өндірістік қауіпсіздік.

Evaluation of the chemical compatibility of emulsion industrial explosives with pyrite-containing ores from deposits of the Karaganda region

Abstract. This study is devoted to assessing the feasibility of using shell-less emulsion industrial explosives with a temperature of about 60 °C in blasting operations at deposits in the Karaganda region, where rocks occur whose aggressiveness is obscured by the presence of sulfur and its chemical compounds. The relevance of the study is determined by the risk of a decrease in the thermochemical stability of ammonium nitrate-based explosives when they come into contact with pyrite-containing ores, which may lead to unplanned exothermic reactions. Within the framework of the study, X-ray spectral microanalysis and X-ray phase analysis were carried out to determine the mineral and elemental composition, and thermal tests were also performed. As a result of the research, industrial safety measures were developed, applicable to similar deposits in the Republic of Kazakhstan as well.

Key words: pyrite-containing ore, emulsion explosive, thermogravimetric analysis (TGA), chemical compatibility, ammonium nitrate, spontaneous decomposition, industrial safety.

Введение

За последние годы при добыче рудных полезных ископаемых с использованием метода буровзрывных работ лидирующее место занимает применение эмульсионных взрывчатых составов, преимущественно на основе нитрата аммония, закачка которых в скважины осуществляется при помощи смесительно-зарядной самоходной техники [1].

Данная технология позволила обеспечить механизацию процесса ведения взрывных работ, повысить уровень его безопасности, решить проблемы с зарядкой обводненных скважин без предварительной откачки из них воды.

Разработка эмульсионных взрывчатых веществ является одним из наиболее перспективных направлений. Это обусловлено значительным улучшением эксплуатационных характеристик, а также безопасности данных материалов [2].

Однако, одним из остаточных препятствий в области безопасности при использовании эмульсионных взрывчатых веществ на основе нитрата аммония остается по-

вышенное содержание пирита в некоторых горнорудных массивах. Установлено, что основную опасность представляет пирит, содержащийся практически во всех сульфидных породах [3].

В присутствии пирита термическая стабильность эмульсионных взрывчатых веществ снижается. Присутствие пирита снижает температуру и увеличивает скорость разложения [4].

Взаимодействие нитрата аммония с пиритсодержащими рудами возникает при определенной температуре рудного тела. Эксперименты показали, что температура начала взаимодействия в присутствии кислотной воды связана с параметрами агрессивности следующей зависимостью [5]:

$$t = \frac{2981}{S^{0,93} \cdot H^{0,28}}, \quad (1)$$

где S – содержание серы в руде, %;

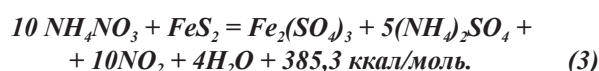
H – концентрация серной кислоты в рудничной воде, г/л.

Прямое взаимодействие нитрата аммония с пиритсодержащими рудами также возникает при определенной температуре, но характеризуется более интенсивным ее ростом в ходе реакции и спонтанным развитием без периода стабилизации. Зависимость температуры начала взаимодействия от содержания серы в руде имеет вид [6]:

$$t = 178,6 - 2,5S, \quad (2)$$

где S – содержание серы в руде, %.

Учитывая всевозможные реакции механизма взаимодействия нитрата аммония с пиритом, институтом «УНИПРОМЕДЬ» приведена суммарная реакция [7]:



Взаимодействие нитрата аммония в составе эмульсии с пиритсодержащими рудами происходит в отличных условиях от прямого взаимодействия. Из экспериментальных данных установлено, что в составе эмульсии температура начала взаимодействия снижается не так сильно, как при прямом взаимодействии [8].

На основании анализа литературных данных [4, 5, 6, 7, 8, 9] можно сделать вывод, что самопроизвольное разложение нитрата аммония в составе взрывчатых веществ при прямом контакте с пиритсодержащими рудами зависит от следующих факторов:

- температуры окружающей среды;
- площади поверхностного контакта с сульфидосодержащими рудами;
- дисперсности контактирующих веществ;
- наличия дополнительных примесей и агрессивных вод;
- присутствия влаги.

Из этого следует, что окисление пиритсодержащих руд, сопровождающееся повышением температуры окружающей среды и снижением водородного показателя (рН) рудничных вод, способствует созданию условий, снижающих термохимическую стабильность применяемых взрывчатых веществ [9].

Состав используемых эмульсионных взрывчатых веществ также влияет на совместимость с горными породами. Способность к химическому взаимодействию с горными породами и грунтовыми водами является одним из основных требований, предъявляемых к промышленным взрывчатым веществам [10].

Учеными был проведен ряд исследований, направленных на снижение взаимодействия между пиритом и эмульсией. Было установлено, что при добавлении определенных добавок возможно повысить стабильность эмульсионных взрывчатых веществ в среде пирита [11, 12].

Данные исследования ориентированы на лабораторные модельные системы и направлены преимущественно на изучение влияния стабилизирующих и ингибирующих добавок, без учета специфики минерального состава пиритсодержащих руд конкретных месторождений, а также реальных термических условий ведения взрывных работ на горнорудных предприятиях Казах-

стана. Вопрос химической совместимости эмульсионных промышленных взрывчатых веществ с такими рудами в условиях агрессивной среды остается недостаточно изученным.

В данной работе приведены результаты исследований химической совместимости эмульсионных промышленных взрывчатых веществ с пиритсодержащими рудами одного из месторождений Карагандинской области, в результате которых определены условия использования данного типа взрывчатых веществ для взрывания горнорудных массивов с агрессивной средой.

Ранее аналогичные исследования были проведены научными институтами «УНИПРОМЕДЬ», «ВНИИцветмет», ГосНИИ «Кристалл» и т. д., однако эти исследования распространялись только на порошкообразные (аммониты), горячельющиеся (ГЛТ) и гранулированные промышленные взрывчатые вещества.

Методы исследования

Перед проведением исследований, на одном из месторождений Карагандинской области, где ведется добыча полиметаллических руд, были отобраны пробы пиритсодержащей руды, а также рудничных вод с данных горизонтов.

Для определения содержания пирита и серы в отобранных образцах руды использовали метод рентгеноспектрального микроанализа и рентгенодифрактометрического анализа.

При исследовании элементного состава образцов использовали электронно-зондовый микроанализатор марки Superprobe 733, анализы элементного состава образцов и фотосъемку в различных видах излучений выполняли с использованием энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY, установленного на электронно-зондовый микроанализатор марки Superprobe 733, при ускоряющем напряжении 25 кВ и токе зонда 25 нА. Анализы были выполнены в диапазоне элементов от бора до урана. Ошибка анализа составляла плюс-минус 5% (отн.). Концентрации элементов определяли в диапазоне от 100% до 0,1%.

Данные, полученные в результате рентгеноспектрального микроанализа проб руды, приведены в таблице 1.

Для определения содержания пирита (минерального состава) в образцах руды проведен рентгенодифрактометрический анализ на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с CuK α – излучением, β -фильтр. Условия съемки дифрактограмм: $U = 35 \text{ кВ}$; $I = 20 \text{ мА}$; съемка θ -2 θ ; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе был выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов.

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа и дифрактограммы образцов руды приведены в таблице 2.

Таблица 1

Данные рентгеноспектрального микроанализа проб руды

Кесте 1

Кен үлгілерінің рентген-спектрлік микроталдауының деректері

Table 1

Data of X-ray spectral microanalysis of ore samples

Элементарный состав пробы руды № 1, среднее значение в весовых %														
O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Ba	-	-	Итог
42,03	1,47	0,56	4,35	18,81	11,86	1,01	1,00	0,30	7,75	0,71	10,16	-	-	100,00
Элементарный состав пробы руды № 2, среднее значение в весовых %														
O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	Zn	Ba	-	-	Итог
38,29	1,21	0,18	3,29	24,04	12,27	0,87	0,05	0,07	6,71	12,04	0,98	-	-	100,00

Таблица 2

Данные полуколичественного рентгенофазового анализа проб руды

Кесте 2

Кен үлгілерінің жартылай мөлшерлік рентгендік фазалық талдауының деректері

Table 2

Data of semiquantitative X-ray phase analysis of ore samples

Минерал (фаза)	Формула	Концентрация, %
Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа пробы № 1		
каолинит	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	28.7
кварц	SiO_2	26.6
барит	$BaSO_4$	21.0
пирит	FeS_2	14.2
слюда	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	6.0
гипс	$Ca(SO_4)(H_2O)_2$	3.5
Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа пробы № 2		
кварц	SiO_2	42.5
сфалерит	ZnS	29.4
пирит	FeS_2	13.9
каолинит	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	10.0
барит	$BaSO_4$	2.3
слюда	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	1.8

При замере показателей pH отобранных проб рудничных вод было определено, что на месторождении данный показатель варьируется в пределах 6,9–7,7, что характерно для слабощелочной среды (близкой к нейтральной).

Пробы эмульсионного взрывчатого вещества, состав которого приведен в таблице 3, отбирали на местах ведения взрывных работ на месторождении.

Непосредственно сама оценка химической совместимости эмульсионных промышленных взрывчатых веществ с пиритсодержащими рудами месторождений Карагандинской области проведена на экспериментальной установке, обеспечивающей нагрев образца до высоких температур и фиксацию температуры в разных точках, методом

регистрации данных термической активности и выделения сопутствующих газов в результате химического взаимодействия отобранных образцов руды (в мелкодисперсном агрегатном состоянии) с образцами эмульсионного взрывчатого вещества.

Таблица 3

Состав пробы эмульсионного взрывчатого вещества

Кесте 3

Эмульсиялық жарылғыш зат үлгісінің құрамы

Table 3

Composition of the emulsion explosive sample

Наименование компонента	Массовая доля, %, не менее
Эмульсионная матрица обратного типа на основе водного раствора нитрата аммония	70
Аммиачная селитра гранулированная	28
Жидкий нефтепродукт	1,8
Водный раствор нитрита натрия	0,2

Результаты и обсуждение

Известно, что при измельчении руды число ее частиц в единице объема возрастает, следовательно, возрастает и общая поверхность контактов руды и взрывчатого вещества [3]. Этим в значительной мере определяется увеличение реакционной способности пиритсодержащей руды при взаимодействии с нитратом аммония, а повышение температуры реакционной массы служит катализатором реакции окисления.

На основании вышеизложенных принципов и был выбран метод исследования, который заключается в проведении умеренного экзотермического тестирования смеси измельченных до порошкообразного состояния образцов руды – 10% и эмульсионного взрывчатого вещества в готовом виде – 90% (рис. 1).

Нагревание смеси проводили постепенно до 200 °C в течение 10 минут. Экзотермический эффект фиксировали при повышении температуры смеси во время проведения теста по сравнению с заданной температурой проведения испытаний. Так же фиксировали резкое повышения концентрации газообразных продуктов реакции.

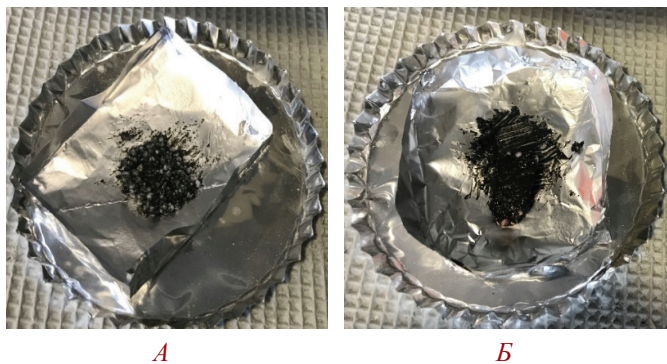


Рис. 1. Смесь руды (А – образец № 1; Б – образец № 2) и эмульсионного взрывчатого вещества.
Сурет 1. Кен (А – үлгі № 1; Б – үлгі № 2) мен эмульсиялық жарылғыш заттың қоспасы.
Figure 1. A mixture of ore (A – sample No. 1; B – sample No. 2) and emulsion explosive.

Для объективности выполнения сравнительного анализа, первоначально было проведено ТГА тестирование эмульсионного взрывчатого вещества в готовом виде без примесей образцов руды. Тестирование прошло в штатном режиме, скачков температуры и выбросов газов не зафиксировано, максимальная температура образца взрывчатого вещества не превышала 132,7 °C (рис. 2).

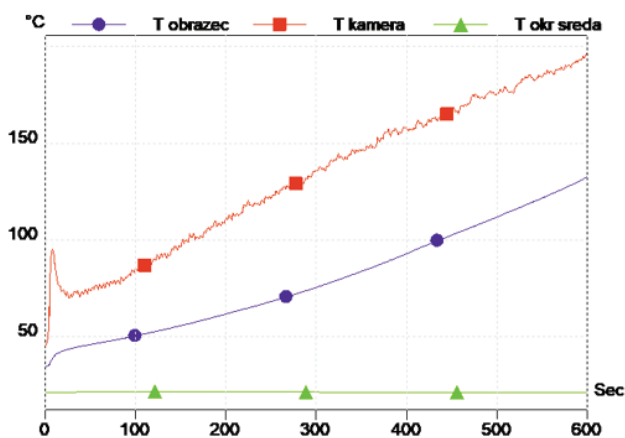


Рис. 2. Термограмма эмульсионного взрывчатого вещества.

Сурет 2. Эмульсиялық жарылғыш заттың термограммасы.

Figure 2. Thermogram of an emulsion explosive.

В процессе последовательного нагрева эмульсионного взрывчатого вещества можно было наблюдать образование плава нитрата аммония и остатков розового красителя на его поверхности в результате разрушения эмульсионной структуры и испарения жидкостных составляющих (рис. 3). Признаков возгорания не выявлено.

В результате исследования химической совместимости эмульсионного взрывчатого вещества с образцом пиритсодержащей руды № 1 можно было наблюдать аналогичные условия с предыдущим образцом эмульсионного взрывчатого вещества до температуры 154,38 °C (553 с), после

чего на термограмме (рис. 4) произошел скачок температуры исследуемого образца до 224,12 °C (584 с), визуально можно было наблюдать протекание экзотермической реакции с выделением газообразных продуктов: CO – 280 мг/м³, NO – 5 мг/м³ и NO_2 – 1040 мг/м³, концентрация которых была зафиксирована газоанализатором.



Рис. 3. Внешний вид эмульсионного взрывчатого вещества после тестирования.
Сурет 3. Зерттеуден кейінгі эмульсиялық жарылғыш заттың сыртқы пішіні.
Figure 3. Physical configuration of the emulsion explosive after experiment.

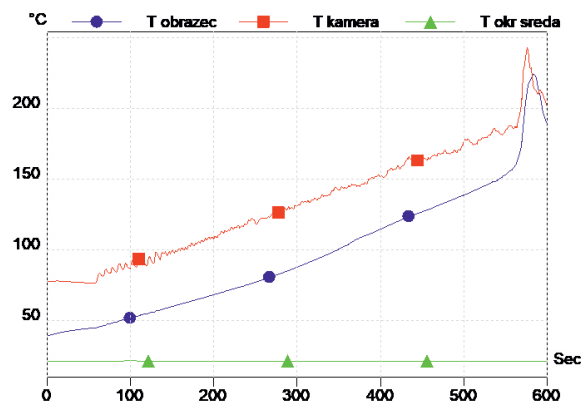


Рис. 4. Термограмма эмульсионного взрывчатого вещества с образцом пиритсодержащей руды № 1.
Сурет 4. № 1 пириттерді қамтитын кен үлгісімен бірге эмульсиялық жарылғыш заттың термограммасы.
Figure 4. Thermogram of an emulsion explosive with a sample of pyrite-bearing ore No. 1.

Полученные значения и частично обугленное состояние образца (рис. 5) свидетельствуют о неполном протекании экзотермической реакции разложения нитрата аммония и испарении жидкого нефтепродукта.

В результате исследования химической совместимости эмульсионного взрывчатого вещества с образцом пиритсодержащей руды № 2 можно было наблюдать плавное стабильное повышение температуры смеси до достиже-

ния 149,42 °C (525 с), после чего на термограмме (рис. 6) произошел скачок температуры исследуемого образца до 193,72 °C (566 с), визуально можно было наблюдать протекание экзотермической реакции с выделением газообразных продуктов в виде: CO – 595 мг/м³ и NO_2 – 60 мг/м³, концентрация которых была зафиксирована газоанализатором.



Рис. 5. Внешний вид эмульсионного взрывчатого вещества с образцом пиритсодержащей руды № 1 после тестирования.

Сурет 5. № 1 пириттерді қамтитын кен үлгісімен бірге эмульсиялық жарылғыш заттың зерттеуден кейінгі сыртқы пішіні.

Figure 5. Physical configuration of the emulsion explosive with a sample of pyrite-containing ore No. 1 after experiment.

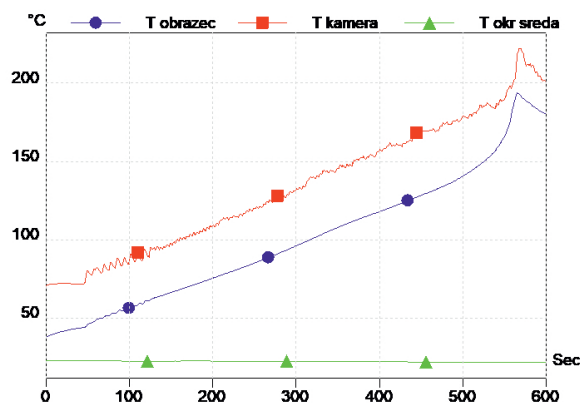


Рис. 6. Термограмма эмульсионного взрывчатого вещества с образцом пиритсодержащей руды № 2.

Сурет 6. № 2 пириттерді қамтитын кен үлгісімен бірге эмульсиялық жарылғыш заттың термограммасы.

Figure 6. Thermograph of an emulsion explosive with a sample of pyrite-containing ore No. 2.

Полученные значения, отсутствие выделения NO и полностью обугленное состояние образца (рис. 7) свидетельствуют о протекании быстрой экзотермической

реакции разложения нитрата аммония и испарения жидкого нефтепродукта, которая ввиду ограниченного объема образца протекает без перехода в горение открытым пламенем.



Рис. 7. Внешний вид эмульсионного взрывчатого вещества с образцом пиритсодержащей руды № 2 после тестирования.

Сурет 7. № 2 пириттерді қамтитын кен үлгісімен бірге эмульсиялық жарылғыш заттың зерттеуден кейінгі сыртқы пішіні.

Figure 7. Physical configuration of the emulsion explosive with a sample of pyrite-containing ore No. 2 after experiment.

При проведении термогравиметрического анализа было установлено, что при взаимодействии (имеющих большую поверхность контакта) образцов эмульсионного взрывчатого вещества в готовом виде и проб сульфидсодержащих руд, в которых содержание пирита не превышает 30%, а массовое содержание серы – меньше 15%, в нормальных условиях (20–50 °C) протекание экзотермических реакций не зафиксировано. В обоих случаях реакции протекают при нагреве смеси до температур близких к 150 °C, при этом экзотермический эффект проявляется резким повышением температуры смеси по сравнению с заданной температурой, а также резким повышением концентрации вредных газов, в основном NO_2 и CO . Данные факторы свидетельствуют о стойкости обратной эмульсии и отсутствии прямого контакта нитрата аммония с пиритсодержащими рудами до момента нарушения стабилизирующей способности эмульсии в результате термического воздействия.

Закключение

Таким образом, проведенные исследования позволяют установить следующее:

1. Горнотехнические условия исследуемого месторождения с пиритсодержащими рудами Карагандинской области позволяют безопасно использовать при ведении взрывных работ взрывчатые составы на основе обратной эмульсии водного раствора нитрата аммония, которые имеют температуру на выходе из смешительно-зарядных устройств до 60 °C.

2. При наличии на месторождениях Карагандинской области участков сульфидсодержащих руд, в которых содержание пирита превышает 30%, а массовое содержание серы – более 20%, и нарушения стабилизирующей способности эмульсии в составе взрывчатых веществ, может быть спровоцировано самопроизвольное проте-

кание экзотермической реакции с выделением тепла и нагрева большого количества реакционной смеси до температуры, превышающей 250 °С, достаточной для самовоспламенения взрывчатого вещества и перехода горения в детонацию с учетом замкнутого пространства (скважины).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Комащенко В.И., Воробьев Е.Д., Белин В.А. Перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и применения современных технологий взрывных работ с учетом экологической безопасности // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2017. № 3. С. 157–165 (на русском языке)
2. Эмульсионные взрывчатые вещества: методическое руководство и обзор последних достижений / Kratarczyk B. [и др.] // Materials. 2022. Т. 15. С. 1–13 (на английском языке)
3. Козырев С.А., Власова Е.А. Исследование химического взаимодействия аммиачной селитры с сульфидсодержащими минералами в составе гематит-магнетитовых кварцитов Оленегорского месторождения // Вестник Кольского научного центра РАН. 2019. № 2 (11). С. 54–60 (на русском языке)
4. Zhi-Xiang Xu, Qian Wang, Xiao-Qi Fu. Тепловая устойчивость и механизм разложения эмульсионных взрывчатых веществ в присутствии пирита // Journal of Hazardous Materials. 2015. Т. 300. С. 702–710 (на английском языке)
5. Катышев С.Ф., Десятник В.Н., Теслюк Д.М. Определение условий безопасного применения аммиачно-селитровых взрывчатых веществ на сульфидных месторождениях // Пожаровзрывобезопасность. 2009. № 2 (18). С. 24–28 (на русском языке)
6. Руководство по предупреждению самопроизвольных загораний и взрывов взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры при производстве взрывных работ в медно-колчеданных рудах, Екатеринбург: Унипромедь, 1991 (на русском языке)
7. Отчет НИР по разработке новых взрывчатых материалов для безопасного ведения взрывных работ на карьерах и рудниках цветной металлургии, Свердловск: «УНИПРОМЕДЬ», 1989 (на русском языке)
8. Кинетический анализ процесса термического разложения эмульсионной матрицы взрывчатого вещества в присутствии сульфидных руд / Yang F. [и др.] // Sustainability. 2022. Т. 14. С. 1–14 (на английском языке)
9. Яковенков А.Г. Самопроизвольные взрывы аммиачно-селитренных взрывчатых веществ при отбойке сульфидных руд // Совершенствование техники и технологии взрывных работ: М.: Недра, 1981. С. 68–77 (на русском языке)
10. Синицын В.А., Шеменев В.Г., Меньшиков П.В. Основные технические требования к промышленным взрывчатым веществам и пути их обеспечения // Проблемы недропользования. 2018. № 2 (17). С. 66–69 (на русском языке)
11. Исследование влияния стабилизирующих добавок на термическое разложение эмульсионных взрывчатых веществ в среде пирита / Петров Е.А. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2016. № 2. С. 18–21 (на русском языке)
12. Савин П.И., Петров Е.А., Бычин Н.В., Тамбиев П.Г. Исследование влияния стабилизирующих добавок на химическую стабильность эмульсионных взрывчатых веществ в сульфидных рудах // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Барнаул: изд-во Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 2017. С. 64–67 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Комащенко В.И., Воробьев Е.Д., Белин В.А. Өнеркәсіптік жарылғыш заттарды дамыту перспективалары және экологиялық қауіпсіздікті ескере отырып заманауи жару жұмыстары технологияларын қолдану // ТулМУ хабарлары. Жер туралы ғылымдар. 2017. № 3. Б. 157–165 (орыс тілінде)
2. Эмульсиялық жарылғыш заттар: әдістемелік нұсқаулық және соңғы жетістіктерге шолу / Kratarczyk B. [және т. б.] // Materials. 2022. Т. 15. Б. 1–13 (ағылшын тілінде)
3. Козырев С.А., Власова Е.А. Аммиак селитрасы мен сульфидтерге бай минералдардың Оленегор кенігіндегі гематит-магнетит кварциттер құрамындағы химиялық өзара әрекеттесуін зерттеу // РПА Кольск ғылыми орталығының хабаршысы. 2019. № 2 (11). Б. 54–60 (орыс тілінде)
4. Zhi-Xiang Xu, Qian Wang, Xiao-Qi Fu. Пирит қатысында эмульсиялық жарылғыш заттардың жылулық тұрақтылығы және ыдырау механизмі // Journal of Hazardous Materials. 2015. Т. 300. Б. 702–710 (ағылшын тілінде)

5. Катыхов С.Ф., Десятник В.Н., Теслюк Д.М. Сульфидті кен орындарында аммиак-селитралы жарылғыш заттарды қауіпсіз қолдану шарттарын анықтау // *Өрт және жарылыс қауіпсіздігі*. 2009. № 2 (18). Б. 24–28 (орыс тілінде)
6. Мыс-пирит кендеріндегі жару жұмыстары кезінде аммоний нитраты негізіндегі жарылғыш заттардың өздігінен тұтануының және жарылуының алдын алу бойынша нұсқаулық, Екатеринбург: Унипромедь, 1991 (орыс тілінде)
7. Түсті металлургия карьерлері мен шахталарында жарылыс жұмыстарын қауіпсіз жүргізу үшін жаңа жарылғыш заттарды әзірлеу жөніндегі ғылыми-зерттеу есебі, Свердловск: «УНИПРОМЕДЬ», 1989 (орыс тілінде)
8. Эмульсиялық жарылғыш зат матрицасының сульфидті кендер қатысында термиялық ыдырау үрдісінің кинетикалық талдауы / Yang F. [және т. б.] // *Sustainability*. 2022. Т. 14. Б. 1–14 (ағылшын тілінде)
9. Яковенков А.Г. Сульфидті кендерді бұрғанда аммиак-селитралы жарылғыш заттардың өздігінен тұатын жарылыстары // *Жарылыс жұмыстарын жүргізу техникасы мен технологиясын жетілдіру*. М.: Недра, 1981. Б. 68–77 (орыс тілінде)
10. Силицын В.А., Шеменев В.Г., Меньшиков П.В. Өнеркәсіптік жарылғыш заттарға қойылатын негізгі техникалық талаптар және оларды қамтамасыз ету жолдары // *Жер қойнауын пайдалану мәселелері*. 2018. № 2 (17). Б. 66–69 (орыс тілінде)
11. Пирит ортасында эмульсиялық жарылғыш заттардың термиялық ыдырауына тұрақтандырғыш қоспалардың әсерін зерттеу / Петров Е.А. [және т. б.] // *Қазақстанның тау-кен журналы*. 2016. № 2. Б. 18–21 (орыс тілінде)
12. Савин П.И., Петров Е.А., Бычин Н.В., Тамбиев П.Г. Сульфидті кендерде эмульсиялық жарылғыш заттардың химиялық тұрақтылығына тұрақтандырғыш қоспалардың әсерін зерттеу // *Материалдар: Х Бүкілресейлік студенттер, аспиранттар және жас ғалымдардың халықаралық қатысуымен ғылыми-тәжірибелік конференциясы, Барнаул: И.И. Ползунов атындағы Алтай мемлекеттік техникалық университетінің баспасы, 2017. Б. 64–67 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. Komashchenko V.I., Vorobyev E.D., Belin V.A. Perspektivy razvitiya promyshlennykh vzryvchatykh veshchestv i primeneniya sovremennykh tekhnologiy vzryvnykh rabot s uchetom ekologicheskoy bezopasnosti [Prospects for the development of industrial explosives and the use of modern blasting technologies taking into account environmental safety], *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle [Izvestiya TulGU. Earth Sciences]*, 2017. No. 3. 157–165 pp. (in Russian)
2. Emulsion explosives: a methodological guide and review of recent advances / Kramarczyk B. [et al.] // *Materials*. 2022. V. 15. No. 14. 1–13 pp. (in English)
3. Kozyrev S.A., Vlasova E.A. Issledovanie khimicheskogo vzaimodeystviya ammiachnoy selitry s sulfidsoedyneniymi mineralami v sostave gematit-magnetitovykh kvarttsitov Olenegorskogo mestorozhdeniya [Study of the chemical interaction of ammonium nitrate with sulfide-containing minerals in hematite-magnetite quartzites of the Olenegorsk deposit], *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Bulletin of the Kola Science Centre of RAS]*. 2019. No. 2 (11). 54–60 pp. (in Russian)
4. Zhi-Xiang Xu, Qian Wang, Xiao-Qi Fu. Thermal stability and decomposition mechanism of emulsion explosives in the presence of pyrite // *Journal of Hazardous Materials*. 2015. V. 300. 702–710 pp. (in English)
5. Katyshev S.F., Desyatnik V.N., Teslyuk D.M. Opreделение usloviy bezopasnogo primeneniya ammiachno-selitrovnykh vzryvchatykh veshchestv na sulfidnykh mestorozhdeniyakh [Determination of safe conditions for the use of ammonium-nitrate explosives at sulfide deposits], *Pozharovzryvbezopasnost' [Fire and Explosion Safety]*. 2009. No. 2 (18). 24–28 pp. (in Russian)
6. Rukovodstvo po preduprezhdeniju samoproizvol'nykh zagoraniy i vzryvov vzryvchatykh veshchestv na osnove ammiachnoy selitry pri proizvodstve vzryvnykh rabot v medno-kolchedannykh rudakh [Guidelines for the Prevention of Spontaneous Ignition and Explosion of Ammonium Nitrate-Based Explosives during Blasting Operations in Copper-Pyrite Ores], Yekaterinburg: Unipromed', 1991 (in Russian)
7. Otchet NIR po razrabotke novykh vzryvchatykh materialov dlja bezopasnogo vedeniya vzryvnykh rabot na kar'erakh i rudnikakh cvetnoj metallurgii [Research Report on the Development of New Explosives for the Safe Conduct of Blasting Operations in Non-Ferrous Metallurgy Quarries and Mines], Sverdlovsk: «UNIPROMED'», 1989 (in Russian)
8. Kinetic analysis of the thermal decomposition process of emulsion explosive matrix in the presence of sulfide ores / Yang F. [et al.] // *Sustainability*, 2022. V. 14. 1–14 pp. (in English)
9. Yakovenkov A.G. Samoproizvol'nye vzryvy ammiachno-selitrennykh vzryvchatykh veshchestv pri otkoyke sulfidnykh rud [Spontaneous explosions of ammonium-nitrate explosives during blasting of sulfide ores],

Sovershenstvovanie tekhniki i tekhnologii vzryvnykh rabot [Improvement of Techniques and Technologies of Blasting Operations]. Moscow: Nedra, 1981. 68–77 pp. (in Russian)

10. Sinitsyn V.A., Shemenov V.G., Men'shikov P.V. Osnovnye tekhnicheskie trebovaniya k promyshlennym vzryvchatym veshchestvam i puti ikh obespecheniya [Basic technical requirements for industrial explosives and ways to ensure them], *Problemy nedropol'zovaniya [Problems of Subsoil Use]*. 2018. No. 2 (17). 66–69 pp. (in Russian)
11. Issledovanie vliyaniya stabiliziruyushchikh dobavok na termicheskoe razlozhenie emulsionnykh vzryvchatykh veshchestv v srede pirita [Study of the effect of stabilizing additives on the thermal decomposition of emulsion explosives in a pyrite environment], Petrov E.A. [et al.], *Gornyy zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*, 2016. No. 2. 18–21 pp. (in Russian)
12. Savin P.I., Petrov E.A., Bychin N.V., Tambiev P.G. Issledovanie vliyaniya stabiliziruyushchikh dobavok na khimicheskuyu stabil'nost' emulsionnykh vzryvchatykh veshchestv v sulfidnykh rudakh [Study of the effect of stabilizing additives on the chemical stability of emulsion explosives in sulfide ores], *Materialy X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem [Proceedings of the X All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation]*, Barnaul: Izd-vo Altayskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I.I. Polzunova, 2017. 64–67 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Алешкова С.В., магистр химической технологии взрывчатых веществ и пиротехнических средств, докторант химической технологии взрывчатых веществ и пиротехнических средств Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан); эксперт-аудитор, ТОО «Экспертно-сертификационный центр взрывчатых материалов» (г. Алматы, Казахстан), svetlana.aleshkova88@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-3950-4582>

Пустовалов И.А., доктор Ph.D по профилю «Химическая технология взрывчатых веществ и пиротехнических средств», директор, ТОО «Экспертно-сертификационный центр взрывчатых материалов» (г. Алматы, Казахстан), igpkz@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8477-8060>

Нашауов Т.Б., магистрант по специальности «Химическая технология взрывчатых веществ и пиротехнических средств» Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан); лаборант ТОО «Экспертно-сертификационный центр взрывчатых материалов» (г. Алматы, Казахстан), tima6333@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2360-6926>

Зарко В.Е., доктор физико-математических наук «Исследование нестационарного горения энергетических материалов», зав. лабораторией «Горение конденсированных систем», Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского, Сибирское отделение Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия), zarko@kinetics.nsc.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0630-5134>

Авторлар туралы мәліметтер:

Алешкова С.В., жарылғыш заттар және пиротехникалық құралдардың химиялық технологиясы мамандығы бойынша магистр; аль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің жарылғыш заттар және пиротехникалық құралдардың химиялық технологиясы мамандығы бойынша докторанты (Алматы қ., Қазақстан); эксперт-аудитор, «Жарылғыш материалдарды сараптау және сертификаттау орталығы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Пустовалов И.А., Ph.D докторы (жарылғыш заттар және пиротехникалық құралдардың химиялық технологиясы мамандығы бойынша), директор, «Жарылғыш материалдарды сараптау және сертификаттау орталығы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Нашауов Т.Б., аль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің «Жарылғыш заттар және пиротехникалық құралдардың химиялық технологиясы» мамандығы бойынша магистрант (Алматы қ., Қазақстан); лаборант, «Жарылғыш материалдарды сараптау және сертификаттау орталығы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Зарко В.Е., физика-математика ғылымдарының докторы; тақырыбы: «Энергетикалық материалдардың уақытша алмасты жануын зерттеу»; Конденсацияланған жүйелердің жануы лабораториясының меңгерушісі, В.В. Воеводский атындағы Химиялық кинетика және жану институты, Ресей Ғылым академиясының Сібір бөлімі (Новосибирск қ., Ресей)

Information about the authors:

Aleshkova S.V., Master of chemical technology of explosives and pyrotechnics, Candidate for Ph.D in chemical technology of explosives and pyrotechnic, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan); expert-auditor, «Expert and Certification Center for Explosive Materials» LLP (Almaty, Kazakhstan)

Pustovalov I.A., Ph.D in the field of chemical technology of explosives and pyrotechnics, director, «Expert and Certification Center for Explosive Materials» LLP (Almaty, Kazakhstan)

Nashauov T.B., Master's Student in specialty «Chemical technology of explosives and pyrotechnic», al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan); laboratory assistant, «Expert and Certification Center for Explosive Materials» LLP (Almaty, Kazakhstan)

Zarko V.E., Doctor of Physical and Mathematical Sciences «Investigation of Nonstationary Combustion of Energetic Materials», Chief Scientist of Condensed systems combustion Laboratory, V.V. Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)