

DOI: 10.24000/0409-2961-2023-2-48-54

УДК 622.235:622.272

© Коллектив авторов, 2023

Химическая маркировка взрывчатых веществ для повышения безопасности взрывных работ¹



Д.А. Байсейтов,
канд. хим. наук,
ст. преподаватель,
dauren_b91@mail.ru



А.А. Приходько,
магистрант



Б.Ж. Ширинбекова,
ст. преподаватель



Б.У. Байзакова,
канд. биол. наук,
ст. преподаватель



Е.Л. Иовлева,
доцент

КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Республика
Казахстан

МКТУ им. Х.А. Ясави, Туркестан, Республика
Казахстан

СВФУ имени
М.К. Амосова, Якутск,
Россия

Статья посвящена разработке маркирующей композиции для промышленных взрывчатых веществ для повышения безопасности взрывных работ. Проведены эксперименты по определению физико-химических параметров полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200, на основе чего РМХ-200 выбрана в качестве маркирующей добавки. По результатам исследований разработан маркер СИМ-К, который позволяет визуализировать взрывчатое вещество и определять необходимую идентификационную информацию. Опробована технология введения маркирующих добавок в составы многокомпонентных взрывчатых веществ без нарушения технологического процесса их изготовления.

Ключевые слова: маркировка, взрывчатые вещества, полиметилсилоксановая жидкость, безопасность, полигонные испытания.
Для цитирования: Байсейтов Д.А., Приходько А.А., Ширинбекова Б.Ж., Байзакова Б.У., Иовлева Е.Л. Химическая маркировка взрывчатых веществ для повышения безопасности взрывных работ // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 2. С. 48–54. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-2-48-54

Chemical Marking of Explosives to Improve the Safety of Blasting Operations

D.A. Bayseytov, Cand. Sci. (Chem.), Senior Lecturer, dauren_b91@mail.ru, **A.A. Prikhodko**, Graduate Student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan), **B.Zh. Shirinbekova**, Senior Lecturer, **B.U. Bayzakova**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Lecturer (International Hoca Ahmet Yesevi Turkish-Kazakh University, Turkistan, Republic of Kazakhstan), **E.L. Iovleva**, Assoc. Prof. (M.K. Amosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia)

Abstract. The article is devoted to the development of a marking composition for industrial explosives to improve the safety of blasting. Polymethylsiloxane liquids of PMS-10 and PMX-200 grades were chosen as a marker-identifier of industrial explosives, which can be identified even after the explosion by residual fragments of soil or other materials from the epicenter of the explosion. Polymethylsiloxane fluids are very heat-resistant, the combustion process takes place with great difficulty, they are little affected by the aquatic environment, most chemical and physical factors that destroy ordinary organic materials. The experiments were carried out to determine the physicochemical parameters of polymethylsiloxane liquids PMS-10 and PMX-200. Based on these results, the polymethylsiloxane liquid PMX-200 with linear chains was chosen as a marking additive in the composition of explosives. It is able to withstand a higher-temperature effect than the PMS-10 polymethylsiloxane fluid, and will be less disintegrate, and interact with the products of the explosion. The SIM-K marker, made on the basis of polymethylsiloxane liquid PMX-200, was developed, which allows to visualize the explosive and determine the required identification information. At the technological plant of Orika-Kazakhstan JSC, without disturbing the technological process, a marking composition was introduced into the ANFO explosive by drop spraying. Field tests of the ANFO explosive with a marking composition based on PMX-200 polymethylsiloxane liquid were carried out. The technology was tested related to introduction of marking additives into the compositions of multicomponent explosives without violating the technological process of their manufacture.

Keywords: marking, explosives, polymethylsiloxane liquid, safety, field tests.

For citation: Bayseytov D.A., Prikhodko A.A., Shirinbekova B.Zh., Bayzakova B.U., Iovleva E.L. Chemical Marking of Explosives to Improve the Safety of Blasting Operations. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2023. № 2. pp. 48–54. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2023-2-48-54

¹ Необходимость маркирования промышленных взрывчатых веществ (ВВ) путем введения в их состав маркирующих веществ и микроносителей отпала в связи с исключением пп. 1 и 2 ст. 4 ТР ТС 028/2012 «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе» решением Совета ЕЭК от 23.12.2020 № 123 (примеч. рецензента из Ростехнадзора).

Введение

В современных реалиях ведение взрывных работ требует постоянного совершенствования применяемых ВВ и газогенерирующих составов, рецептурных составов, а также технологий их производства и применения [1–3]. Также необходимо отметить непрерывный рост потребления промышленных ВВ и увеличение числа объектов их производства.

В настоящее время наиболее популярными требованиями по контролю оборота промышленных ВВ являются лицензирование, разрешение или иные аналогичные требования в отношении их хранения, использования, перевозки, купли-продажи и других видов коммерческой деятельности. Данные требования в полной мере не обеспечивают полноценный контроль, так как «преступные элементы», как правило, приобретают ВВ из наиболее доступных и наименее рискованных источников. Области, вызывающими очевидную озабоченность, являются кража или утечка законных запасов промышленных ВВ на этапах их производства, транспортирования, хранения и использования [4, 5].

Вышеуказанная проблема может быть решена путем маркировки ВВ по производителю, потребителю, дате изготовления или по другим нормируемым техническим показателям [6]. Необходимость скрытой информативной маркировки промышленных ВВ определена на межгосударственном уровне [7].

Решение вопроса информационной маркировки обозначено еще в 1991 г. Конвенцией о маркировке пластических взрывчатых смесей или веществ в целях их идентификации, принятой в Монреале на дипломатической конференции, которая проведена ИКАО с 12 февраля по 1 марта 1991 г. [8]. Вторая часть [8] «Маркирующие вещества» отражает типы маркирующих химических веществ, которые вводятся в состав взрывчатых композиций для дальнейшего дистанционного обнаружения взрывчатых смесей техническими или другими методами.

Маркирующими химическими веществами могут быть производные нитросоединений и металлические порошки. В работе [9] для маркировки ВВ предлагают использовать органические соединения класса красителей или низкомолекулярных полимеров.

Известно, что некоторые высокочувствительные бризантные ВВ не поддаются плавлению и пребывают исключительно в кристаллическом состоянии, их маркировка возможна только путем механического перемешивания с металлизированной маркирующей композицией высокой абразивности. Это делает маркировку данного вида ВВ чрезмерно опасной [10]. Кроме того, ограничена сырьевая база редкоземельных металлов, соответственно, стоимость маркирующей композиции на их основе может превысить себестоимость основной продукции.

Данный способ может быть применим для маркирования газогенерирующих составов (в том числе

замедлительных) [11], так как данные составы уже содержат металлические горючие компоненты [12] и при условии добавления в количестве до 0,01 % порошков редкоземельных металлов возможно будет обеспечить информативность маркера при идентификации.

Таким образом, разработка и практическое применение методов маркирования (мечения) промышленных ВВ являются актуальным и перспективным направлением в современной химии [13–15].

Экспериментальная часть

В частности, для выполнения экспериментов использованы следующие компоненты:

полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10 (ООО НПП «КСЕРОКОМС»);

гранулы нитрата аммония марки Б;

силиконовое масло РМХ-200 (SILICONE FLUID Rexant);

дизельное топливо (ДТ) марки Л (ТОО «ПНХЗ»).

Методика приготовления образцов заключалась в следующем: взвешивание — механическое смешивание маркирующих веществ между собой, с растворителем и компонентами взрывчатых составов — механическое смешивание компонентов ВВ. Компоненты взвешивали на электронных весах Pioneer PA214 и тщательно перемешивали при помощи магнитной мешалки MS300 Hotplate Magnetic Stirrer и механической лопастной мешалки AM110W-T.

Температуру вспышки полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200 определяли на приборе SYD-3536-1 в открытом тигле. За температуру вспышки принимали температуру, при которой на поверхности полиметилсилоксановых жидкостей появлялось первое синее пламя. Исследования летучести полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200 выполнены методом термогравиметрического анализа на приборе AND MX-50. Для определения кинематической вязкости (сопротивления жидкости течению под действием гравитации) полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200 использована настольная автоматическая система измерения кинематической вязкости АКВ-202 с двумя вискозиметрами в одной бане. Для определения температуры застывания полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200 предварительно пробы наливали в пробирки, куда далее помещали термометры ТЛС-2.

Результаты и их обсуждение

В последние годы в химической, нефтехимической, парфюмерной, авиационной и автомобильной промышленности повышенное внимание уделяется особым физико-химическим свойствам кремний-органических полимерных жидкостей, к которым относятся полиметилсилоксаны [16]. Учитывая совокупность свойств, присущих только этому классу полимерных соединений и не повторяющихся ни в одном из других известных в настоящее время природных или синтетических материалов, поли-

метилсилоксановые жидкости выбраны в качестве маркера-идентификатора промышленных ВВ, которые можно будет идентифицировать даже после взрыва по остаточным фрагментам грунта или других материалов с эпицентра взрыва.

Учитывая особенности рецептурного состава простейших двухкомпонентных взрывчатых смесей, в которых гранулы аммиачной селитры (АС) (94–96 %) покрыты тонким слоем жидкого горючего (дизельное топливо) (4–6 %), наиболее целесообразно подобрать такую марку полиметилсилоксановой жидкости, чтобы ее свойства были близки со свойствами жидкого горючего компонента.

Дизельное топливо является хорошим растворителем для полиметилсилоксановых жидкостей, растворимость которых несколько изменяется в зависимости от вязкости. Полиметилсилоксановые жидкости с низкой вязкостью более полно растворяются в растворителе, чем сорта с высокой вязкостью. Для приготовления исходных маркирующих составов использовались ДТ марки Л по ГОСТ 305—2013* и полиметилсилоксановые жидкости марок ПМС-10 и РМХ-200 SILICONE FLUID вязкостью 200 сСт (РМХ-200). Так как для изготовления маркирующей композиции взяты полиметилсилоксановые жидкости ПМС-10 и РМХ-200, имеющие различную вязкость, в рамках данной работы выполнено экспериментальное определение физических свойств полиметилсилоксановых жидкостей данных марок. Также важным обстоятельством является то, что полиметилсилоксановая жидкость РМХ-200 имеет более вязкую консистенцию, чем ПМС-10, и гораздо меньшую летучесть, что может являться преимуществом при использовании в промышленных взрывчатых составах, особенно когда в процессе дефлорации активно происходит испарение ДТ.

Результаты всех проведенных экспериментов по определению физико-химических параметров полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200 сведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что физические свойства полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200 (температура застывания, температура вспышки, летучесть и т.д.) зависят от их кинематической вязкости. Исходя из данных результатов, в качестве маркирующей добавки в составе ВВ наиболее применима полиметилсилоксановая жидкость РМХ-200 с линейными цепями, термостабильность которой обуславливается природой химических связей основной молекулярной цепи полимера. Благодаря своим свойствам полиметилсилоксановая жидкость РМХ-200 способна выдерживать более высокотемпературное воздействие, чем полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10, она будет в меньшей степени дезинтегрировать и взаимодействовать с продуктами взрыва.

Дальнейшие исследования были направлены на создание концентрированных маркирующих растворов, позволяющих осуществлять введение маркирующей добавки определенной концентрации в составы аммиачно-селитренных ВВ без нарушения технологического процесса их изготовления и проводить различными методами анализа последующую идентификацию как готовых маркированных ВВ, так и фрагментов (следов), оставшихся после взрыва маркированных ВВ.

В целях проверки возможности последующей идентификации маркирующей композиции на базе полиметилсилоксановой жидкости РМХ-200 методами хроматографического анализа изготовлен маркер для промышленных ВВ СИМ-К СТ ТОО 141140001438-001—2015**. Маркер СИМ-К, изготов-

Таблица 1

Наименование определяемых показателей	Показатели согласно ГОСТ 305—2013		Экспериментальные данные	
	ДТ		Полиметилсилоксановые жидкости	
	Марка Л	Марка З	ПМС-10	РМХ-200
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	3,0–6,0	1,8–5,0	10,1	200,0
Температура застывания, °С	Не выше –10	Не выше –45	Не выше –60	Не выше –55
Температура вспышки, °С	Не ниже 40 (в закрытом тигле)	Не ниже 35 (в закрытом тигле)	Не ниже 164 (в открытом тигле)	Не ниже 316 (в открытом тигле)
Плотность при 20 °С, кг/м ³	Не более 860	Не более 840	Не более 935	Не более 968
Летучесть, % потери массы через 24 ч при 150 °С	100,0	100,0	10,0	0,5
Растворимость:				
в ДТ	—	—	Растворяется без осадка	Растворяется без осадка
в насыщенном растворе АС	—	—	Не растворяется	Не растворяется

* ГОСТ 305—2013. Топливо дизельное. Технические условия. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293775/4293775268.pdf> (дата обращения: 10.01.2023).

** Паспорт безопасности химической продукции СИМ-К СТ ТОО 141140001438-001—2015. Алматы: ТОО «ЭСЦВМ», 2015. 18 с.

ливаемый (программируемый информационным кодом) методом препаративной хроматографии, представляет собой смесь полимеров линейной структуры.

Маркер SIM-K является информативным, в нем содержатся кодовые обозначения согласно требованиям ТР ТС 028/2012 «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе» [7].

По физико-химическим показателям маркер SIM-K, изготовленный на базе полиметилсилоксановой жидкости PMX-200, соответствует показателям, указанным в табл. 2.

Наименование показателя	Нормативное значение
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость
Содержание механических примесей	Отсутствуют
Кинематическая вязкость, сСт, при 20 °С	От 200 и выше
Температура вспышки в открытом тигле, °С	Не ниже 300
Температура застывания, °С	Не выше -55
Реакция среды (рН водной вытяжки)	6,2–7,0
Массовая доля кремния, %	37,0–38,5
Массовая доля воды, %	Не более 0,004
Вводимое количество, необходимое для корректной идентификации, мл на 1 т ВВ	От 10 до 100

Как видно из табл. 2, кинематическая вязкость может меняться от 100 до 1000, такой широкий спектр варьирования вязкости может объясняться не только зависимостью от температуры, но и способностью селективного разделения по молекулярной массе методом препаративной жидкостной хроматографии полиметилсилоксановой жидкости PMX-200 на индивидуальные составляющие веще-

ства. Срок хранения маркера SIM-K — пять лет со дня изготовления.

Первоначально было решено провести мечение маркирующей композицией на основе полиметилсилоксановой жидкости PMX-200 ВВ типа ANFO, представляющего собой стехиометрическую смесь гранулированной АС, выполняющей роль окислителя, жидкого нефтепродукта (ДТ), обладающего хорошей способностью к окислению и имеющего отрицательный кислородный баланс.

Рецептурный состав смесевых ВВ подбирается таким образом, чтобы количество кислорода окислителя обеспечивало полное окисление горючих компонентов [3]. В этом случае кислородный баланс ВВ равен нулю.

Сопоставительный анализ работоспособности ВВ типа ANFO, применяемых в горнодобывающей промышленности, позволил определить и классифицировать их среднестатистические взрывчатые и физико-химические показатели с соответствующим соотношением исходных компонентов. Взрывчатые и физико-химические показатели ВВ типа ANFO (94,1 % АС + 5,1 % ДТ) приведены в табл. 3.

Опытная партия ВВ типа ANFO с рецептурным составом 94,1 % АС + 5,1 % ДТ марки Л произведена на промышленной установке в производственном цехе АО «Орика-Казахстан» — казахстанской компании, изготавливающей широкий ассортимент промышленных ВВ и изделий на их основе.

В процессе проведения эксперимента маркирующая композиция на основе полиметилсилоксановой

Таблица 2

Таблица 3

Наименование показателя	Нормативное значение
Расчетные	
Кислородный баланс, %	0
Объем газов, л/кг	966
Температура взрыва, К	3048
Энергия (теплота) взрыва, кДж/кг	3800
Экспериментальные	
Полнота детонации:	
в толстостенной стальной трубе при плотности заряжания 1,3 г/см ³ от промежуточного детонатора (патрон аммонита № 6ЖВ по ГОСТ 21984—76* массой 200 г)	Полная
в бумажной оболочке диаметром 100–120 мм от промежуточного детонатора (шашка типа Т-400Г)	Полная
Массовая доля влаги, %	Не более 1
Насыпная плотность, кг/м ³	750–900
Скорость детонации в мягкой оболочке диаметром 150 мм, м/с	3000–4000
Водоустойчивость	Неводоустойчив
Чувствительность к удару, Дж	Более 98
Чувствительность к трению при ударном сдвиге, Н	Более 352,8

* ГОСТ 21984—76. Вещества взрывчатые промышленные. Аммонит № 6ЖВ и аммонал водоустойчивые. Технические условия. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294831/4294831788.pdf> (дата обращения: 10.01.2023).

жидкости РМХ-200 предварительно в количестве 10 мл растворена в 1 л ДТ.

Количество маркера рассчитывалось на 120 кг ВВ ANFO. В результате получено достаточное количество маркирующей композиции, необходимой для капельного равномерного введения в состав опытной партии ВВ типа ANFO, равной 120 кг.

Далее в процессе приготовления ANFO на технологической установке АО «Орика-Казахстан», не нарушая технологический процесс, в состав ВВ методом капельного распыления введена маркирующая композиция. При распылении учитывалась равномерная подача на всю поверхность ВВ.

В результате на выходе получено замаркированное ВВ ANFO путем добавки в него маркирующей композиции на основе полиметилсилоксановой жидкости РМХ-200, предварительно разбавленной в ДТ.

При маркировке взяты пробы ДТ и самой продукции ANFO для дальнейших исследований: образец 1 — ДТ с введенным в его состав маркером СИМ-К, образец 2 — гранулированная АС, замаркированная маркером СИМ-К, образец 3 — ANFO с введенным в его состав маркером СИМ-К.

Из общего количества опытной партии замаркированного ВВ ANFO, масса которой составляла 120 кг, отобрана усредненная проба в количестве 10 кг. Проба разделена на два заряда диаметром по 160 мм и массой по 2,5 кг, а остальные 5 кг оставлены для дальнейшего исследования.

Далее экспериментально определяли растворимость полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и РМХ-200 в жидких компонентах ВВ. Результаты представлены в табл. 4.

номерно, притом что в концентрированном водном растворе АС полиметилсилоксановые жидкости ПМС-10 и РМХ-200 не растворялись ввиду своего меньшего молекулярного веса и при перемешивании диспергировались в виде мелких шарообразных капель. Данные результаты имеют важное значение, так как указывают: через какой из компонентов вводить маркер в состав смесевых ВВ и в каком количестве.

Проведение полигонных испытаний взрывчатого вещества ANFO с введенной в его состав маркирующей композицией на основе полиметилсилоксановой жидкости РМХ-200

Полигонные испытания ВВ типа ANFO с введенной в его состав маркирующей композицией на основе полиметилсилоксановой жидкости РМХ-200 проведены в целях идентификации остатков замаркированного ВВ.

После взрывных работ на полигоне провели отбор образцов грунта с места взрыва для дальнейшего определения в нем наличия маркирующей композиции.

Технические характеристики ВВ, определенные в результате испытаний ВВ типа ANFO, замаркированного маркирующей композицией на основе полиметилсилоксановой жидкости РМХ-200, представлены в табл. 5 и на рисунке.

В процессе введения маркирующей композиции на основе полиметилсилоксановой жидкости РМХ-200 в состав ВВ ANFO технологический процесс изготовления ANFO не был нарушен и не возникало каких-либо дополнительных угроз жизни и здоровью людей.

Таблица 4

Жидкие компоненты ВВ	Экспериментальные данные	
	Полиметилсилоксановые жидкости	
	ПМС-10	РМХ-200
Амилацетат, бензол, циклогексан, ДТ, этиловый эфир, 2-этилгексанол, бензин, гексилвый эфир, изооктан, керосин, метилэтилкетон, хлористый метилен, метиловый эфир	Полностью растворим	Полностью растворим
Минеральное герметизирующее масло, перхлорэтилен, толуол, трихлорэтилен, скипидар, ксилол	Полностью растворим	Частично растворим
Ацетон, бутанол, диоксан, этанол, гептадеканол и изопропанол	Частично растворим	Частично растворим
Циклогексанол, диметилфталат, додеканол, этиленгликоль, метанол, парафиновое масло, пропиленгликоль, вода	Нерастворим	Нерастворим

Как показывают данные табл. 4, наибольшую ценность полиметилсилоксановые жидкости представляют тем, что свободно растворяются в ДТ, которое в настоящее время является основным горючим компонентом в 90 % взрывчатых составов, применяемых в горнодобывающей промышленности для разрушения горных пород взрывным способом.

Визуально можно наблюдать, что в ДТ полиметилсилоксановые жидкости ПМС-10 и РМХ-200 не образуют сгустков и осадка. Распределение полиметилсилоксановых жидкостей происходило рав-

Таблица 5

Наименование показателя	Характеристики ВВ до маркировки	Характеристики ВВ после маркировки
Внешний вид	Омасленные гранулы	Омасленные гранулы
Плотность, кг/м ³	700–900	900
Полнота детонации	Полная	Полная

Таким образом, как показывают визуальные наблюдения после полигонных испытаний и эксплуа-



▲ **Последствия взрыва зарядов ANFO, замаркированных маркирующей композицией на основе полиметилсилоксановой жидкости PMX-200**

▲ **Consequences of the explosion of ANFO charges marked with a marking composition based on polymethylsiloxane liquid PMX-200**

тационные характеристики на полноту детонации, взрывчатые свойства ANFO после введения маркирующей композиции на основе полиметилсилоксановой жидкости PMX-200 соответствуют требованиям СТ 233-1917-03-АО-004—2012, а также ANFO по всем установленным в процессе проведения испытаний показателям соответствует требованиям промышленной безопасности Республики Казахстан.

В результате проведенных работ разработана маркирующая композиция на базе полиметилсилоксановой жидкости PMX-200 для промышленных ВВ. Проведены эксперименты по определению физико-химических параметров полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и PMX-200, имеющих различную вязкость. Исходя из данных результатов в качестве маркирующей добавки в составе ВВ выбрана полиметилсилоксановая жидкость PMX-200 с линейными цепями. На технологической установке АО «Орика-Казахстан», не нарушая технологический процесс, в состав ВВ ANFO методом капельного распыления введена маркирующая композиция. Проведены полигонные испытания ВВ ANFO с введенной в его состав маркирующей композицией на основе полиметилсилоксановой жидкости PMX-200. Опробована технология введения маркирующих добавок в составы многокомпонентных ВВ без нарушения технологического процесса их изготовления.

Заключение

Проведены эксперименты по определению физико-химических параметров полиметилсилоксановых жидкостей ПМС-10 и PMX-200, на основе чего PMX-200 выбрана в качестве маркирующей добавки. Разработан маркер СИМ-К, изготовленный на базе полиметилсилоксановой жидкости PMX-200, который позволяет визуализировать взрывчатое вещество и определять необходимую идентификационную

информацию. Применение на практике описанного способа химического маркирования повысит безопасность оборота и использования промышленных взрывчатых веществ.

Список литературы

1. *Development and investigation of pyrotechnic gas generating burning compositions/ M. Tulepov, D. Baiseitov, L. Sassykova et al.// Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2018. Vol. 53. № 2. P. 281–288.*
2. *Development of gas-generator chemical cartridges working in the mode of non-explosive destructive mixture/ M.I. Tulepov, S.E. Gabdrashova, N.M. Rakhova et al.// Rasayan Journal of Chemistry. 2018. Vol. 11. № 1. P. 287–293. DOI: 10.7324/RJC.2018.1112013*
3. *Кушнеров П.И., Панчишин В.Я., Панчишин О.В. Современные тенденции в области взрывных работ и взрывчатых веществ// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2012. № 2. С. 163–170.*
4. *Пустовалов И.А. Физико-химические основы и технологические принципы идентификации промышленных взрывчатых смесей: дис. ... д-ра филос. наук. Алматы, 2019. 123 с.*
5. *Испытания образцов эмульсионного взрывчатого вещества Senatel Magnum до и после введения маркирующей композиции на взрывчатые свойства и критерии безопасности/ Ж.А. Амир, Д.А. Байсейтов, С.Е. Гизатова и др.// Безопасность труда в промышленности. 2021. № 6. С. 75–81. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-6-75-81*
6. *Повышение безопасности ведения взрывных работ за счет химической маркировки взрывчатых веществ/ В.В. Большаков, С.Я. Иосипенко, А.С. Семин и др.// Безопасность труда в промышленности. 2008. № 12. С. 29–32.*
7. *ТР ТС 028/2012. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе». URL: <http://docs.cntd.ru/document/902359424> (дата обращения: 10.01.2023).*
8. *Конвенция о маркировке пластических взрывчатых веществ в целях их обнаружения. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/markconv.shtml (дата обращения: 10.01.2023).*
9. *Пат. 2328481 Россия. Способ маркировки взрывчатого вещества/ В.В. Пупков, И.Ю. Маслов; заявл. 01.02.2007; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19.*
10. *Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. Л.: Химия, 1981. 312 с.*
11. *Agrawal J.P. High energy materials. Propellants, explosives and pyrotechnics. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. 464 p.*
12. *Пат. 4087 Республика Казахстан. МПК С06В 43/00. Малогазовый замедлительный состав/ Ш.Е. Габдрашова, М.И. Тулепов, Б. Элоуади и др.; заявл. 07.09.2018; опубл. 21.06.2019.*
13. *Modelling of DMNB content for marked plastic explosives/ R.K. Sinha, Himanshua Shekhar, A. Subhananda Rao, Haridwarb Singh// Defence Science Journal. 2007. Vol. 57. Iss. 6. P. 811–815. DOI: 10.14429/dsj.57.1819*

14. Lidar detection of explosive vapors in the atmosphere// S.M. Bobrovnikov, A.B. Vorozhtsov, E.V. Gorlov et al.// Russian Physics Journal. 2016. Vol. 58. Iss. 9. P. 1217–1225. DOI: 10.1007/s11182-016-0635-9

15. Wang D., Chen A., Jen A.K.-Y. Reducing cross-sensitivity of TiO₂-(B) nanowires to humidity using ultraviolet illumination for trace explosive detection// Physical Chemistry Chemical Physics. 2013. Vol. 15. Iss. 14. P. 5017–5021. DOI: 10.1039/c3cp43454k

16. Соболевский М.В., Музовская О.А., Пospelova Г.С. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов. М.: Химия, 1975. 296 с.

References

1. Tulepov M., Baiseitov D., Sassykova L., Kazakov Y., Gabdrashova S., Mansurov Z., Dalton A. Development and investigation of pyrotechnic gas generating burning compositions. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2018. Vol. 53. № 2. pp. 281–288.

2. Tulepov M.I., Gabdrashova S.E., Rakhova N.M., Sassykova L.R., Baiseitov D.A., Elemesova Z., Korchagin M.A., Sendevlan S., Pustovalov I.O., Mansurov Z.A. Development of gas-generator chemical cartridges working in the mode of non-explosive destructive mixture. Rasayan Journal of Chemistry. 2018. Vol. 11. № 1. pp. 287–293. DOI: 10.7324/RJC.2018.1112013

3. Kushnerov P.I., Panchishin V.Ya., Panchishin O.V. Modern trends in the sphere of blast works and explosives. *Vestnik nauchnoy tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Industrial Safety*. 2012. № 2. pp. 163–170. (In Russ.).

4. Pustovalov I.A. Physical and chemical bases and technological principles of the identification of industrial explosive mixtures: thesis ... Doctor of Philosophical Sciences. Almaty, 2019. 123 p. (In Russ.).

5. Amir Zh.A., Bayseytov D.A., Gizatova S.E., Kudyarova Zh.B., Tulepov M.I. Tests of Samples of Emulsion Explosive Senatel Magnum before and after Introduction of the Marking Composition for Explosive Properties and Safety Criteria. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2021. № 6. pp. 75–81. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2021-6-75-81

6. Bolshakov V.V., Iosipenko S.Ya., Semin A.S., Kutuzov B.N., Maslov I.Yu., Pupkov V.V. Improving Safety of Blasting Operations by Applying Chemical Marking on Explosives. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2008. № 12. pp. 29–32. (In Russ.).

7. TR TS 028/2012. Technical Regulations of the Customs union «On safety of the explosives and products based on them». Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902359424> (accessed: January 10, 2023). (In Russ.).

8. Convention on the Marking of Plastic Explosives for the Purpose of their Detection. Available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/markconv.shtml (accessed: January 10, 2023). (In Russ.).

9. Pupkov V.V., Maslov I.Yu. Explosive marking method. Patent RU 2328481. Applied: February 1, 2007. Published: July 10, 2007. Bulletin № 19. (In Russ.).

10. Orlova E.Yu. Chemistry and technology of high explosives: textbook for universities. 3-e izd., pererab. Leningrad: Khimiya, 1981. 312 p. (In Russ.).

11. Agrawal J.P. High energy materials. Propellants, explosives and pyrotechnics. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. 464 p.

12. Gabdrashova Sh.E., Tulepov M.I., Elouadi B., Rakhova N.M., Pustovalov I.A., Abdrakova F.Yu. Low-gas retarding composition. Patent 4087. Republic of Kazakhstan. MPK C06B 43/00. Applied: September 7, 2018. Published: June 26, 2019. (In Russ.).

13. Sinha R.K., Shekhar Himanshua, Subhananda Rao A., Singh Haridwarb. Modelling of DMNB content for marked plastic explosives. Defence Science Journal. 2007. Vol. 57. Iss. 6. pp. 811–815. DOI: 10.14429/dsj.57.1819

14. Bobrovnikov S.M., Vorozhtsov A.B., Gorlov E.V., Zharikov V.I., Maksimov E.M., Panchenko Yu.N., Sakovich G.V. Lidar detection of explosive vapors in the atmosphere. Russian Physics Journal. 2016. Vol. 58. Iss. 9. pp. 1217–1225. DOI: 10.1007/s11182-016-0635-9

15. Wang D., Chen A., Jen A.K.-Y. Reducing cross-sensitivity of TiO₂-(B) nanowires to humidity using ultraviolet illumination for trace explosive detection. Physical Chemistry Chemical Physics. 2013. Vol. 15. Iss. 14. pp. 5017–5021. DOI: 10.1039/c3cp43454k

16. Soboлевский М.В., Музовская О.А., Пospelova Г.С. Properties and fields of application of the organosilicon products. Moscow: Khimiya, 1975. 296 p. (In Russ.).

E-mail: dauren_b91@mail.ru

Материал поступил в редакцию/ Received 31.12.2022

После рецензирования/ Revised 03.02.2023

Принят к публикации/ Accepted 16.02.2023

- Статья должна в обязательном порядке иметь реферат, ключевые слова и список литературы.
- Реферат к статье (в соответствии с требованиями международных баз данных) должен достаточно полно раскрывать ее содержание (но не быть калькой с русскоязычной аннотации), иметь объем в среднем 1800–2000 символов. Реферат должен быть переведен на английский язык.
- Ключевые слова должны содержать в среднем не менее 7–10 наименований и также должны быть переведены на английский язык.
- Список литературы статьи (в соответствии с требованиями международных баз данных) должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 7.0.5—2008 и иметь не менее 12 источников (из них не более 3 ссылок на собственные работы) с обязательным включением как минимум 5 источников позднее 2010 г. и не менее 4 ссылок на зарубежные исследования последних лет.

