Системы контроля окружающей среды № 3 (57) 2024

https://elibrary.ru/wojwaj
УДК 662.221.4 + 504.054 DOI: 10.33075/2220-5861-2024-3-115-123

БЕЗОПАСНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ПРОСТЕЙШИМИ ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ

Ю.Е. Шишкин[1], И.В. Половинко[2,3]

[1]Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: iurii.shishkin@gmail.com
[2]Межрегиональное управление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по Республике Крым и г. Севастополю, РФ, г. Симферополь, ул. Кечкеметская, 198
[3]Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, РФ, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4
E-mail: bezopasnik@mail.ru

В статье рассмотрены простейшие взрывчатые вещества, используемые при проведении взрывных работ на карьерах Крымского региона, и дана оценка влияния ядовитых газообразных продуктов, образующихся при этих работах, на окружающую среду. Описаны вредные факторы, возникающие в процессе проведения взрывных работ. Рассмотрены основные методы испытания промышленных взрывчатых веществ с целью определения их пригодности к безопасному использованию при производстве, хранении, транспортировке и применении. Приводится оценка характеристик взрывчатого вещества гранулит марки РП-2, а также его основные достоинства и недостатки при применении и хранении. Описаны результаты эксперимента по измерению плотности образцов. Предложена технология экспресс-анализа для определения пригодности использования гранулита марки РП-2 на всех этапах технологических процессов. Сделаны выводы о целесообразности разработки комплексной технологии экспресс-анализа для улучшения безопасности окружающей среды при проведении взрывных работ с использованием гранулита марки РП-2.

Ключевые слова: простейшие взрывчатые вещества, испытания, экологическая безопасность, охрана окружающей среды. взрывные работы, гранулированная аммиачная селитра, нефтепродукт.

Поступила в редакцию: 12.06.2024. После доработки: 05.08.2024. Принята к печати: 27.09.2024.

Введение. В развитии современного индустриального общества остро стоит вопрос безопасности населения и окружающей природной среды при освоении месторождений твёрдых полезных ископаемых и разработке карьеров. Увеличиваются техногенные, антропогенные и другие воздействия на окружающую природную среду, что отрицательно сказывается на экологической безопасности. Интенсивные техногенные и антропогенные воздействия оказывают негативное влияние на экологическую безопасность, что заставляет всё больше задумываться о проблемах охраны окружающей среды. Эти проблемы особенно актуальны при разработке месторождений твёрдых полезных ископаемых и эксплуатации щебёночных карьеров в Крымском регионе.

Производители нерудных строительных материалов – карьеры являются крупнейшими потребителями промышленных взрывчатых веществ в горнодобывающей промышленности Крымского региона. Для разработки карьеров проводятся взрывные работы с применением простейших (сухих) промышленных взрывчатых веществ (ВВ). Они представляют собой гранулированные порошкообразные взрывчатые вещества, предназначенные для взрывания шпуровых и скважинных зарядов на земной поверхности в основном в сухих горных выработках карьеров.

В данную группу входят: аммонал, гранулотол, граммонит, алюмотол, игданит, гранулит, тротил.

В состав водосодержащих взрывчатых веществ, используемых для взрывания шпуровых и скважинных зарядов в обводнённых горных выработках, входят эмульсионные взрывчатые вещества, такие как акванал, акватол, селипор и карбатолы. Для рыхления твёрдых пород и последующей переработки горной массы, добываемой в процессе взрывных работ, на щебень, в основном используется промышленное взрывчатое вещество гранулит марки РП-2 (взрывчатка) [1]. Это взрывчатое вещество является взрывопожароопасным и представляет собой смесь гранулированной аммиачной селитры с горючим дизельным топливом, машинным (индустриальным) маслом или отработанным нефтепродуктом, сбалансированную по кислородному балансу.

В период с 2014 года по 2022 год включительно в местах ведения взрывных работ израсходовано 15 тыс. тонн простейшего промышленного взрывчатого вещества гранулит марки РП-2. В тот же период, объём произведённого гранулит марки РП-2 составил 16,8 тыс. тонн. Данные показатели, в разы превышающие объёмы производства и расхода эмульсионных взрывчатых веществ 5,6 т и 6,1 т соответственно, позволяют сделать вывод о том, что гранулит марки РП-2 является основным промышленным ВВ, применяемым при ведении взрывных работ на карьерах Крымского полуострова [2]. Соответствие направления исследования современным требованиям к охране окружающей среды подчёркивается тем, что анализ тенденций развития теории и практики обращения взрывчатых материалов промышленного назначения показал, что уже наметились позитивные сдвиги в международном опыте безопасного обращения взрывчатых материалов промышленного назначения. Однако, несмотря на своё широкое применение, гранулит марки РП-2 остаётся источником выделения большого количества ядовитых газов, образовывающихся при взрыве, которые приносят вред окружающей природной среде и оказывают негативное влияние на экологическую безопасность Крымского полуострова (рис. 1). В данной ситуации целью на-стоящего исследования является разработка технологии экспресс-анализа пригодности к использованию взрывчатки для повышения её качества и как следствие, снижения вредоносных выбросов диоксида азота в окружающую среду.

а б

Рис. 1. Массовый взрыв для рыхления горных пород на карьере участка № 1 Северо-Баксанского месторождения известняков

Fig. 1. Photographing a massive explosion for loosening rocks at the quarry of site No. 1 of the North Baksan limestone deposit

Объектами исследования являются существующие методы испытаний – определения пригодности к использованию промышленного взрывчатого вещества пониженной мощности гранулит марки РП-2 (взрывчатки).

Предметом исследования является физические характеристики и свойства взрывчатки.

Задачами исследования является проведение эксперимента по измерению плотности образцов, выявление различий между показателями плотности исследуемых образцов, сравнение полученных результатов с показателями плотности эталонного образца.

Актуальность исследования обусловлена состоянием окружающей среды Крымского полуострова, как курортного региона с уникальной природой, требующего более пристального внимания в вопросах экологической безопасности и охраны окружающей среды. Поэтому необходимо активно развивать мероприятия по улучшению экологической безопасности, чтобы достигнуть положительных результатов в разработке методов и способов охраны окружающей среды, исключающих угрозу нанесения ущерба природной среде и здоровью населения Крымского региона.

Данные и методы. Автором использован экспериментально-аналитический метод для разработки технологии экспресс-анализа, направленный на определение пригодности гранулита марки РП-2 к использованию, с целью минимизации загрязнения окружающей среды. В ходе эксперимента автор применял данные численного эксперимента для определения плотности образцов в полевых условиях, используя следующие средства измерения:

– сосуд стальной цилиндрический ЦС-113 ГОСТ 5802-86, прошедший метрологическую калибровку, что подтверждается сертификатом №22263К-1502 от 15.02.2024.

– электронные лабораторные весы марки M-ER, заводской №32607744 (класс точности II – высокий по ГОСТ OIML R 76-1-2011), прошедшие метрологическую поверку, что подтверждается сведениями о результатах проверки средства измерения от 28.08.2023 (рис. 2). Вышеуказанные средства измерения соответствуют установленным требованиям и допущены к использованию в качестве рабочих средств метрологическими службами.

Рис. 2. Рабочие средства измерения с документацией о соответствии
Fig. 2. Working measuring instruments with documentation

Методическое обеспечение экспресс-анализа взрывчатого вещества. Прежде чем перейти к анализу существующих методов определения пригодности гранулита марки РП-2 и описанию экспериментального метода, важно рассмотреть вредные факторы, связанные с взрывами. Для этого обратимся к соответствующим фотоснимкам, сделанным при проведении взрывных работ. Как видно на рис. 1, массовый взрыв является причиной выбросов большого количества пыли и токсичных газов. Эти выбросы являются одним из факторов, влияющих на экологическую безопасность при разработке месторождений полезных ископаемых и эксплуатации карьеров. Токсичные газы, выделяющиеся во время взрывания скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ), оказывают негативное воздействие на окружающую среду, население, прилегающие территории, а также на работников горнодобывающих предприятий. К одними из наиболее токсичных продуктов взрыва следует относить оксиды азота и окись углерода.

Выделение оксидов азота сопровождается образованием «оранжевого облака» или так называемого «лисьего хвоста». При проведении взрывных работ выделяется оксид азота NO, который, попадая в атмосферу, быстро соединяется с кислородом и превращается в диоксид азота NO_2. Основная причина образования токсичных продуктов взрыва — использование некачественных промышленных взрывчатых веществ, в частности простейшего гранулированного ВВ гранулит марки РП-2. При низких температурах рыжий «лисий хвост» становится бесцветным и не восприимчивым человеческому глазу. Его образование способствует раннему пожелтению и появлению бурых пятен на листьях деревьев, их увяданию и гибели, а также формированию кислотных облаков и осадков. Это происходит из-за взаимодействия NO_2 с водой, в результате которого образуется азотная кислота HNO_3. Попадание азотной кислоты в организм человека и животных также пагубно. Все слизистые оболочки являются влажными, т.е. содержат воду. А это значит, при вдыхании паров NO_2 в горле, носоглотке, на стенках альвеол легких образуется HNO_3, которая разъедает эти органы, запускается процесс разрушения человеческого и животного организма.

Ранние исследования учёных показали, что затруднение дыхания у здорового человека наступает при концентрации NO_2 всего 0,056 мг/м^3, а склонного к заболеваниям легких – при 0,038 мг/м^3. Влияние NO_2 на организм даже в малых концентрациях снижает его сопротивляемость и запускает негативные процессы. Особенно остро это проявляется у детей [3].

Причиной производства недоброкачественной продукции может являться неравномерное смешивание компонентов взрывчатки, появление конкурирующей впитываемости (одна гранула впитывает больше нефтепродукта, чем другая), неблагоприятные погодные условия (пониженная или повышенная температура окружающей среды), нарушение технологии производства вследствие несоблюдения технологических регламентов, утряска в процессе транспортировки и другие факторы [4].

Согласно требованиям правил безопасности при обращении с взрывчатыми материалами промышленного назначения, гранулит марки РП-2 должен подвергаться испытаниям для определения его пригодности к использованию [5].

Гранулит марки РП должен соответствовать установленным техническим условиям и регламентному документу технологического процесса, утвержденному производящей организацией.

Методика испытаний, соответствующая техническим условиям обращения со взрывчатым веществом, включает:

– визуальный осмотр упаковки и внешнего вида взрывчатого вещества,

– определение массовой доли воды с взятием проб,

– определение содержания компонентов гранулита марки РП,

– определение жидкого нефтепродукта,

– определение полноты детонации путем взрывания гранулита марки РП-2,

– определение рассыпчатости (сыпучести) материала.

Одним из методов испытания гранулита марки РП-2 является измерение насыпной плотности. Этот метод предусматривает взвешивание взрывчатого вещества, утряску и помещение его в цилиндрическую емкость (стакан) для измерения массы.

Проведение испытания осуществляется с помощью стакана емкостью ~ 1 литр и весов с погрешностью измерения до 0,01 г. Определяется вес стакана, а также масса воды, последовательно загружаемых в стакан. Насыпная плотность γ гранулита РП-2 определяется из соотношения

$$\gamma = (m_3 - m_1) / (m_2 - m_1), \text{ г/см}^3,$$

где m_1 – масса стакана, г; m_2 – масса стакана с водой, г; m_3 –масса стакана с пробой взрывчатого вещества, г. [6].

Несмотря на значительное количество исследований и достигнутые успехи в разработке методов испытаний, эти методы все еще не дают полной картины. В частности, результаты определения пригодности гранулита марки РП-2 на основе осмотра внешнего вида взрывчатого вещества, его упаковки и маркировки остаются приблизительными и неточными. Проверка взрывоопасных свойств гранулита марки РП-2 путем его взрывания является небезопасным, трудоемким и дорогостоящим методом. Определение пригодности этого гранулита к взрыванию в лабораторных условиях также требует значительных усилий и специализированного оборудования, включая химические реактивы и реагенты.

Новизна данного исследования заключается в организации контроля качества взрывчатого вещества непосредственно на местах его производства, хранения, транспортировки и применения для обеспечения экологической безопасности. Концепция исследования состоит в разработке метода экспресс-анализа для контроля технологических процессов обращения с гранулитом марки РП-2 на всех этапах. Возвращаясь к вышеизложенному, необходима разработка новых технологий определения пригодности к использованию гранулита марки РП-2, которые возможно было бы применять на местах производства работ по изготовлению, транспортировке, хранению и применению гранулита марки РП-2.

В ходе исследований, направленных на разработку новых методов и технологий, а также на совершенствование существующих, уделим особое внимание недостаткам гранулита РП-2: слёживаемость, гигроскопичность, низкая водостойкость, недостаточное детонационное давление при взрывании трудновзрываемых крепких пород, и значительное количество токсичных газов, выделяемых при взрыве. Эти проблемы, в основном связанные с основным компонентом гранулита РП-2 – аммиачной селитрой, отрицательно сказываются на качестве взрывчатого вещества, что, в свою очередь, ведет к нарушениям требований безопасности при проведении взрывных работ и негативно влияет на окружающую природу [7]. В рамках определения пригодности к использованию гранулита марки РП-2, проведен эксперимент для разработки технологии экспресс-анализа, которая включает измерение удельной плотности взрывчатого вещества при наличии избытка нефтепродукта и воды, ухудшающих его химический и физический состав. Целью этого анализа является оперативное определение качественных характеристик промышленного взрывчатого вещества гранулита РП-2 для снижения выбросов вредных газов в окружающую среду при проведении взрывных работ.

Образцы, применяемые для опытов, включают эталонный образец — взрывчатое вещество гранулит марки РП, изготовленный в соответствии с технологическими требованиями, а также образцы, созданные с нарушениями технологии производства. Нарушения включают попадание дождевой воды в аммиачную селитру и изменения в количестве нефтепродукта (дизельного топлива) из-

за возможных неисправностей оборудования или человеческого фактора.

Эксперимент включает измерение плотности приготовленных образцов, их взвешивание и фиксацию результатов. Полученные данные затем сравниваются с установленной нормой, что позволяет сделать заключения о результативности проведенного эксперимента.

Результаты. Начальный этап разработки комплексной технологии заключался в проведении экспериментов по определению удельной плотности опытных образцов гранулита марки РП.

При проведении эксперимента было изготовлено 4 образца:

– образец № 1 – содержание воды 1%, содержание нефтепродукта (дизельное топливо) 6%;

– образец № 2 – содержание воды 1,5%, содержание нефтепродукта (дизельное топливо) 6%;

– образец № 6 – содержание нефтепродукта (дизельное топливо) 5%, вода отсутствует;

– образец № 8 – эталонный гранулит марки РП-2 в процентном соотношении 6% нефтепродукта (дизельное топливо), вода отсутствует.

Определение качества взрывчатых веществ проводилось посредством измерения плотности образцов в условиях, близких к реальным. В ходе эксперимента образцы хранились в пластиковой таре в течение 24 часов. Для измерений использовался мерный сосуд и электронные лабораторные весы.

Процесс определения плотности включал в себя загрузку предварительно перемешанного до однородного состояния образца в мерный сосуд до его края. Каждый образец был тщательно распределен по всей плоскости сечения сосуда и взвешивался. Результаты измерений плотности образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Полученные результаты определения плотности образцов

	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 6	Образец № 8 (эталон)
Масса аммиачной селитры, г	1000	1000	1000	1000
Масса дизельного топлива, г	60	60	50	60
Процентное соотношение воды, %	1	1,5	-	-
Масса воды, г	10	15	-	-
Общая масса образца, г	1070	1075	1050	1060
Масса образца в сосуде – *m*, (г)	996	997	994	990
Объём мерного сосуда *Vc* (см^3)	1000	1000	1000	1000
Плотность – *p*, г/см^3	0,996	0,997	0,994	0,99

Плотность каждого образца *p* (г/см³) в граммах на кубический сантиметр вычислена по формуле

$$p = m / Vc \ ,$$

где *m* – масса образца в сосуде, г (показания весов); V_c, – объём мерного сосуда, см^3.

В образцах № 1–2 с содержанием воды в количестве 1–2% процесса растворения аммиачной селитры не наблюдалось.

В образце № 6 с содержанием 5% нефтепродукта, расслоение аммиачной селитры и нефтепродукта также не наблюдалось.

Эталонный образец № 8 гранулита РП-2 соответствует техническим условиям. Стекание нефтепродукта не обнаружено, гранулы равномерно смочены

топливом. Плотность соответствует техническим условиям (рис. 3).

Заключение. Авторы проанализировали вредные факторы взрыва, сопровождающиеся выделением большого количества вредных газов, и дали характеристику этим феноменам. Рассмотрены существующие методы испытаний взрывчатого вещества гранулит марки РП-2 для определения его пригодности к использованию.

Рис. 3. Приготовленные и взвешенные образцы № 1, № 2, № 6, № 8
Fig. 3. Prepared and weighed samples No. 1, No. 2, No. 6, No. 8

Основные результаты исследования включают проведение эксперимента, направленного на разработку технологии экспресс-анализа, и расчет плотности исследуемых образцов. Рассмотрены результаты расчёта и найдены отличия плотности исследуемых образцов. По результатам эксперимента были сделаны выводы о том, что определение плотности в полевых условиях показывает результат, который необходим для экспресс-анализа, без дополнительного времени и ресурсов, что очень важно для оперативного регулирования компонентов и доведения качественных характеристик взрывчатого вещества к установленным нормам.

Перспектива дальнейших исследований заключается в проведении новых экспериментов по измерению плотности образцов взрывчатки с различными процентными содержаниями воды и нефтепродукта для проведения сравнительного анализа. При определении плотностей отчетливо видна динамика изменения этих параметров в сравнении с эталонным нефтепродуктом.

Исходя из полученных результатов, перспективным видится приступить к разработке таблицы параметров для оценки качества готового продукта, с рекомендациями по приведению в соответствие гранулита марки РП-2 при неудовлетворительных показателях.

Проведенные исследования могут стать основой для разработки комплексной технологии экспресс-анализа взрывчатого вещества гранулит марки РП-2 с целью снижения вредных выбросов в окружающую среду. Данная задача требует дальнейшего изучения и выявления зависимостей от процентного содержания воды и нефтепродукта в исследуемых образцах взрывчатого вещества.

Работа выполнена по госбюджетной теме ИПТС "Совершенствование технических средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод" (№ госрегистрации 124012700512-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И.* Промышленные взрывчатые вещества. 3-е изд. М.: Недра, 1988. 358 с.

2. [Электронный ресурс] // ЕМИСС Государственная статистика: [сайт] URL:https://www.fedstat.ru/indicator/37353?ysclid=luv8ysyzkr258589159 (дата обращения: 11.04.2024).

3. *Глебов В.В.* Влияние техногенной сферы большого города на адаптационные процессы человека // Фундаментльные исследования. 2013. № 10–11. С. 2461–2465.

4. *Поздняков З.Г., Росси Б.Д.* Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. 2-е изд. М.: Недра, 1977. 253 с.

5. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности* «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения». Серия 13. Выпуск 15. М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности». 2021. 352 с.

6. *Вещество* взрывчатое промышленное Гранулит РП Технические условия ТУ 7276-028-11692478-2002. М., 2002. 27 с.

7. *Викторов С.Д., Франтов А.Е., Лапиков И.Н., Мингазов Р.Я.* К методам определения технологических показателей компонентов простейших взрывчатых веществ. Инженерная физика. 2020;(8):25-35. DOI: 10.25791/infizik.

ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE HANDLING OF SIMPLE INDUSTRIAL EXPLOSIVES IN THE CRIMEAN REGION

Y.E. Shishkin[1], I.V. Polovinko[2,3]

[1]Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28
[2]Interregional Department of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in the Republic of Crimea and Sevastopol, RF, Simferopol, Kechkemetskaya St., 198
[3]Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky,
RF, Simferopol, Ak. Vernadsky Av., 4

The article examines primary explosives used in blasting operations at quarries in the Crimea region and assesses the environmental impact of toxic gaseous by-products generated during these activities. Harmful factors arising during blasting operations are described. Key testing methods for industrial explosives to determine their suitability for safe use during production, storage, transportation, and application are reviewed. The characteristics of the RP-2 type granulite explosive are evaluated, highlighting its primary advantages and disadvantages during use and storage. The results of experiments measuring the density of samples are described. The article proposes developing an express-analysis technology to determine the suitability of using RP-2 type granulite at all stages of technological processes. Conclusions are made regarding the feasibility of developing a comprehensive express-analysis technology to enhance environmental safety during blasting operations using RP-2 type granulite.

Keywords: simple explosives, testing, environmental safety, environmental protection. blasting, granulated ammonium nitrate, petroleum product.

REFERENCES

1. *Dubnov L. V., Bakharevich N.S., and Romanov A. I.* Promyshlennye vzryvchatye veshchestva.. 3-e izd. Moscow: Nedra, 1988, 358 p.

2. Elektronnyi resurs. EMISS *Gosudarstvennaia statistika*, available at: URL:https://www.fedstat.ru/indicator/37353?ysclid=luv8ysyzkr258589159 (April 11, 2024).

3. *Glebov V.V.* Vliianie tekhnogennoi sfery bol'shogo goroda na adaptatsion-nye protsessy cheloveka (The influence of the technogenic sphere of a large city on adaptation processes) // Fundamental'nye issledovaniia. 2013, No. 10–11, pp. 2461–2465.

4. *Pozdniakov Z.G. and Rossi B.D.* Spravochnik po promyshlennym vzryvchatym veshchestvam i sredstvam vzryvaniia. 2-e izd. Moscow: Nedra, 1977, 253 p.

5. *Federal'nye* normy i pravila v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri proizvodstve, khranenii i primenenii vzryvchatykh materialov promyshlennogo naznacheniia». Seriia 13. Vypusk 15. Moskva: Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo «Nauchno-tekhnicheskii tsentr issledovaniia problem promyshlennoi bezopasnosti», 2021, 352 p.

6. *Veshchestvo* vzryvchatoe promyshlennoe Granulit RP Tekhnicheskie usloviia TU 7276-028-11692478-2002. Moscow, 2002, 27 p.

7. *Viktorov S.D., Frantov A.E., Lapikov I.N., and Mingazov R.IA.* K metodam opredeleniia tekhnologicheskikh pokazatelei komponentov prosteishikh vzryvchatykh veshchestv (Methods for determining technological parameters of components of simple explosives). *Inzhenernaia fizika.* 2020;(8):25-35. DOI: 10.25791/infizik.