

## Газовая вредность взрывчатых веществ, применяемых в горнодобывающей промышленности

С.А. Козырев✉, Е.А. Власова

*Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация*

✉ s.kozyrev@ksc.ru

**Резюме:** Определение состава и количества газообразных продуктов взрыва, в том числе состава ядовитых газов, образующихся при детонации различных взрывчатых веществ в разных условиях, весьма необходимо, так как позволяет судить о полноте взрыва, с одной стороны, и о степени загазованности в результате проведения взрывных работ – с другой. Особенно это актуально при ведении взрывных работ в подземных условиях. Данные используются для расчета необходимого количества воздуха для вентиляции как участков, так и всей шахты в целом. При этом в расчет принимается некоторая норма условной окиси углерода, образующейся при взрыве 1 кг взрывчатых веществ, или фактическая газовая вредность. В настоящее время отсутствуют единые требования по получению информации о количестве токсичных продуктов взрыва при взрыве промышленных взрывчатых веществ, несмотря на то что в перечень показателей, необходимых для оценки безопасности взрывчатых веществ при их разработке, входит – «объем вредных газов в продуктах взрыва». В литературных источниках и справочниках представлены данные о газовой вредности, значительно отличающиеся даже для одних и тех же составов. В технических условиях на промышленные взрывчатые вещества иногда приводятся данные о газовой вредности, но не указываются методы ее определения. В статье сравниваются результаты исследования газовой вредности промышленных взрывчатых веществ, полученные разными методами и на основе разных критериев.

**Ключевые слова:** взрывчатые вещества, газовая вредность, безопасность, горная промышленность

**Для цитирования:** Козырев С.А., Власова Е.А. Газовая вредность взрывчатых веществ, применяемых в горнодобывающей промышленности. *Горная промышленность*. 2021;(5):106–111. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-106-111.

## Gas hazard of explosives used in the mining industry

S.A. Kozyrev✉, E.A. Vlasova

*Mining Institute Kola Science Centre RAS, Apatity, Russian Federation*

✉ s.kozyrev@ksc.ru

**Abstract:** Reducing emissions of hazardous pollutants that have a negative impact on the environment and human health has been approved as one of the strategic objectives of Russia's development. More than 90% of minerals in mined using blast energy. Despite an increase in the share of non-explosive component mixtures used in mining, blasting still poses a hazard to miners as the gaseous detonation products are potentially dangerous. The composition of blast gaseous products is extremely important in underground blasting because air exchange is difficult under these conditions and the blast products can contaminate the atmosphere of underground excavations, causing illness or poisoning of miners. Currently, there are no uniform requirements for obtaining information on the amount of gaseous blast products that would be hazardous to the human organism. Available documents do not contain information on the permissible amounts of toxic oxides per 1 kg of explosive detonated. The article compares the results of studying gas toxic hazard of industrial explosives obtained by different methods and based on different criteria.

**Keywords:** explosives, gas toxic hazard, mining industry

**For citation:** Kozyrev S.A., Vlasova E.A. Gas hazard of explosives used in the mining industry. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(5):106–111. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-106-111.

**Введение**

В настоящее время более 90% объема полезных ископаемых в горном деле добывается с помощью энергии взрыва. Эффективность взрывного разрушения массива горных пород определяет производительность дальнейших технологических процессов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. В годовом отчете о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2019 г. указано, что организации, ведущие взрывные работы, использовали более 2 млн т взрывчатых веществ (ВВ). Из общего объема израсходованных ВВ 90% изготовлено в местах применения из невзрывчатых компонентов. Из них 60% составили наиболее безопасные эмульсионные ВВ, большая доля которых используется на открытых горных работах. В подземных условиях в основном применяются смесевые гранулированные ВВ местного или заводского изготовления. Наибольшее применение нашли тротилсодержащие, алюминизированные и простейшие составы. Из всех допущенных взрывчатых составов для отбойки крепких горных пород наибольшее распространение в настоящее время получили: граммонит М21, грамотолы Т-18 и 20, на основе гранулированного тротила, гранулиты АС-8 и А6 заводского изготовления, а также их разновидности местного изготовления. Эмульсионные ВВ в подземных условиях применяют только на нескольких крупных горных предприятиях.

В продуктах взрыва промышленных ВВ регистрируется значительное количество ядовитых газов (в основном токсичные оксиды углерода и азота: CO, NO и NO<sub>2</sub>). Это обусловлено тем, что для современных промышленных ВВ характерна неидеальная детонация, вследствие неполноты разложения компонентов в зоне реакции детонационной волны. Газовая вредность – это суммарное значение количеств ядовитых газов в продуктах взрыва, отнесенное к массе ВВ, с учетом коэффициента токсичности.

В настоящее время необходимость установления газовой вредности допускаемых ВВ отражена в Техническом регламенте Таможенного союза (ТР ТС 028/2012) «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе» в перечне показателей, необходимых для оценки безопасности взрывчатых веществ при их разработке, указан «объем вредных газов в продуктах взрыва»<sup>1</sup>.

Вопросами исследования газовой вредности ВВ, применяемых в горной промышленности, особенно активно занимались в середине прошлого века. Измерения проводились как в лабораторных условиях (стальная бомба), так и в горных выработках. На первых этапах исследований для допуска ВВ в подземных условиях узаконена норма, предусматривающая, что при взрыве должно образовываться не более 40–50 л ядовитых газов на 1 кг ВВ. В действующих нормативных документах норма ядовитых газов не регламентирована, а указывается, что для подземных горных работ должны применяться ВВ с нулевым или близким к нему кислородным балансом, при которых выделяется наименьшее количество ядовитых газов.

В «Правилах безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения»<sup>2</sup> для подземных условий ведения работ в п. 218

указано: допуск людей в выработку (забой) после взрывных работ производится только при условии содержания ядовитых продуктов взрыва не более 0,008% по объему в пересчете на условный оксид углерода.

При ведении проходческих работ проветривание выработок для снижения концентрации ядовитых продуктов взрыва до указанной концентрации должно достигаться не более чем за 30 мин. Проветривание выработок до указанной концентрации ядовитых продуктов взрыва при ведении очистных работ должно достигаться за время, предусмотренное графиком проветривания горных выработок, утвержденным техническим руководителем рудника (шахты). Для выполнения этих требований необходимо знать газовую вредность применяемых ВВ.

В Директиве Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2014/28 / ЕС<sup>3</sup> о гармонизации положений, касающихся выпуска на рынок и надзора за взрывчатыми веществами, применяемыми в гражданских целях, в Приложении II п. 3 приведены требования для групп взрывчатых веществ, в которых указано, что в атмосфере рабочих зон после взрывных работ могут присутствовать окись углерода, окислы азота, другие газы, пары или взвешенные в воздухе твердые остатки только в тех количествах, которые не причинят вред здоровью при обычных рабочих условиях, но не указывается процентное содержание ядовитых продуктов по объему. Директива определяет необходимость исследования взрывных газов, но не содержит требований в отношении допустимых количеств токсичных оксидов углерода CO и оксидов азота NO<sub>x</sub>.

На образование ядовитых газов при взрыве, кроме свойств ВВ, могут влиять и свойства горных пород. Б.Д. Росси [1] указывал, что влияние свойств горных пород на образование ядовитых газов может быть даже большим, чем влияние свойств самих ВВ. Им предложена классификация горных пород по этому признаку, отнесенная к промышленным ВВ с кислородным балансом близким к нулевому. По количеству образуемых ядовитых газов при взрыве ВВ (в условной окиси углерода с переводным коэффициентом от окислов азота к окиси углерода 6,5) породы подразделяются на три группы. К I группе отнесены апатиты, нефелины, калийные соли, молибденовые руды, некоторые медные и полиметаллические руды (до 40 л на 1 кг ВВ); к II группе – угли и вмещающие породы, свинцово-цинковые руды, мармитовые железные руды, золотоносные руды (от 40 до 100 л/кг); к III группе – джеспилитовые железные руды (более 100 л/кг).

В США непреходящие взрывчатые вещества по классификации Института изготовителей взрывчатых веществ подразделяют на три категории (табл. 1).

**Таблица 1**  
**Классификация непреходящих взрывчатых веществ по объему выделяемых токсичных газов**

**Table 1**  
**Classification of non-safety explosives by the volume of released toxic gases**

Категория	Объем токсичных газов, выделяемых при взрыве, л/кг
1	0–23
2	23–50
3	50–100

Источник: [2].

<sup>3</sup> Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2014/28 / ЕС о гармонизации положений, касающихся выпуска на рынок и надзора за взрывчатыми веществами, применяемыми в гражданских целях. Режим доступа: <http://base.garant.ru/70901580/> (дата обращения: 08.07.2021)

<sup>1</sup> Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 028/2012) «О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902359424> (дата обращения: 08.07.2021)

<sup>2</sup> Федеральные нормы и правила «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» (Приказ Ростехнадзора от 03.12.2020 № 494). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573219717> (дата обращения: 08.07.2021)

Если взрывчатые вещества попадают в третью категорию, то их применение при подземной разработке может осуществляться только согласно местным постановлениям.

В связи с сильным влиянием свойств горных пород на образование ядовитых газов при взрыве и в настоящее время нет единой нормы по этому показателю для различных ВВ. Однако общепринято, чтобы вновь созданное ВВ в одинаковых условиях испытаний не образовывало ядовитых газов больше, чем аммонит № 6ЖВ, принятый за эталон.

**Исследование газовой вредности промышленных взрывчатых веществ**

Известны многие методы определения количественного состава газов, образующихся при взрыве ВВ. Для определения количества ядовитых газов, образующихся при взрыве ВВ, используются лабораторные и производственные методы. Лабораторные методы не требуют больших материальных затрат и применяются для оперативной оценки газовой опасности ВВ путем взрывания небольших зарядов в стальных цилиндрах с глухим дном и съемной крышкой, носящих название бомб. Современные грубодисперсные ВВ имеют низкую чувствительность и большой критический диаметр, поэтому для организации стационарного детонационного процесса необходимо работать с зарядами большой массы, что невозможно осуществить в лабораторных условиях. Для этих целей используют герметичные взрывные камеры. В Восточном научно-исследовательском институте по безопасности работ в горной промышленности (ВостНИИ) проводились работы по определению состава и количества токсичных газов взрыва различных типов ВВ с использованием герметичной взрывной камеры оригинальной конструкции с внутренним объемом 7 м<sup>3</sup>, позволяющей взрывать заряды массой до 1 кг [3]. Газовые пробы отбираются после взрыва, и фотоколориметрическим анализом устанавливается содержание токсичных газов. Результаты приведены в табл. 2.

**Таблица 2**  
Результаты исследований газов взрыва промышленных ВВ, выполненных в герметичной камере ВостНИИ

**Table 2**  
Results of industrial explosion gas studies performed in a sealed chamber at the VostNII Scientific Centre for Industrial and Environmental Safety in Mining

Тип взрывчатого вещества	Содержание газов, л/кг		Газовая вредность, л/кг
	СО	NO <sub>x</sub>	
Аммонит №6ЖВ	3,4	2,9	22
Граммонит 79/21	32,9	4,9	65
АС-ДТ	26,5	3,8	51
Гранулит АС-8	7,4	6,4	49
Порэммит	16,6	1,1	24
Эмуласт	15,5	1,0	22

При рассмотрении результатов следует уточнить, что вышеуказанные результаты приведены для зарядов диаметром 80 мм в оболочке из алюминиевой фольги массой 800 г. Для инициирования применяли промежуточный детонатор из аммонита №6ЖВ массой 200 г в бумажной гильзе диаметром 50 мм. Наиболее «экологически чистыми» являются водоземulsionные взрывчатые вещества, количество токсичных газов при их взрыве до 25 л/кг в пересчете

на условную окись углерода. Гранулиты при взрыве выделяют большее количество токсичных газов. При взрыве игданита, содержащего в своем составе 5,5% дизельного топлива, выделяется 51 л/кг условной окиси углерода.

В работе польских исследователей определялось содержание токсичных оксидов углерода и азота при взрыве зарядов ВВ в полиэтиленовой оболочке диаметром 32 мм, инициированных зарядом 0,6 г PENT [4]. Определение проводилось в стальной взрывной камере объемом до 8 м<sup>3</sup> в соответствии с европейским стандартом PN-EN 13631-16. Взрывные газы в камере после детонации заряда принудительно перемешивались и охлаждались. Содержание токсичных оксидов (табл. 3) измеряли автоматическими анализаторами газа в течение 20 мин. Для измерения СО использовали инфракрасный метод (ИК-анализатор MIR 25 – Environnement, Франция) и хемилюминесцентный анализатор для оксидов азота (TOPAZE 32 M - Environnement, Франция).

**Таблица 3**  
Результаты определения состава взрывных газов во взрывной камере лаборатории исследования ВМ экспериментальной шахты «Барбара» Центрального горного института (Польша)

**Table 3**  
Results of determining the composition of blast gases in the blasting chamber of the explosive materials research laboratory at Barbara experimental mine of the Central Mining Institute (Poland)

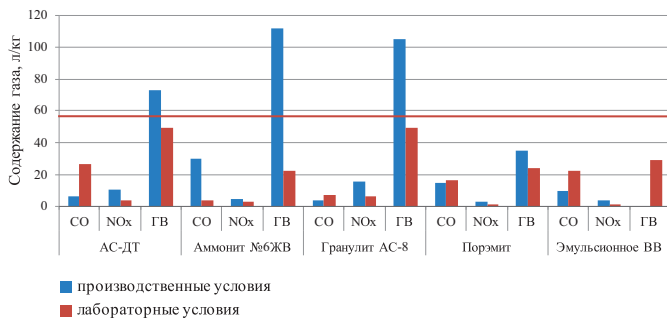
Тип взрывчатого вещества	Содержание газов, л/кг		Газовая вредность, л/кг
	СО	NO <sub>x</sub>	
AN-FO	5,87	4,74	36,65
Эмульсионное ВВ 1	21,85	0,68	26,28
Эмульсионное ВВ 2	21,43	1,15	28,90
Эмульсионное ВВ 3	21,43	0,40	24,03

В соответствии с требованиями безопасности Польши максимально допустимые содержания токсичных газов в продуктах взрыва 1 кг ВВ не должны превышать 27 л СО и 16 л NO<sub>x</sub>. Считается, что ВВ соответствует требованиям стандарта безопасности при газовой вредности до 50 л/кг (в пересчете на условную окись углерода). Все испытанные ВВ соответствуют стандартам.

Более точные результаты получаются при определении состава газообразных продуктов взрыва ВВ с использованием производственных методов. Известны два основных вида производственных методов – камерный и бескамерный [5]. Данные методы представляет большую опасность для исследователей, трудноприменимы в условиях действующего предприятия и не позволяют обеспечить идентичность проведения испытаний. В предыдущие годы на основе экспериментальных исследований многих авторов [1; 6] были разработаны научные основы, объясняющие механизм образования ядовитых газов при различных условиях взрывания.

Основным выводом данных исследований явилось то, что газообразные продукты взрыва, наблюдаемые в производственных условиях, отличаются от полученных при испытаниях в лаборатории не только по количеству, но и по составу (рис. 1).

Эксперименты, проведенные в последние годы, свидетельствуют о сложности учета газообразных продуктов взрыва, связанной с трудностями их регистрации. При



**Рис. 1**  
Газовая вредность (ГВ) взрывчатых веществ на основе определенных количеств оксида углерода CO и оксидов азота NOx во взрывных газах. Красная линия – стандарт России по допуску ВВ для использования в подземных условиях

**Fig. 1**  
Gas toxic hazard of explosives based on specified amounts of carbon monoxide CO and nitrogen oxides NOx in blast gases. The red line is the Russian standard for the approval of explosives for underground use

взрыве в натуральных условиях непосредственно в шпурах и скважинах часть газов выбрасывается в атмосферу, часть адсорбируется взорванными горными породами и может удерживаться в них длительное время, вплоть до полной уборки породы из забоя. Часть ядовитых газов заполняет поры и трещины невзорванного массива, в которых находится неопределенно долгое время. По данным работы [6], фактическая газовость ВВ составляет 40–50% от полной, а остальная часть адсорбируется взорванной породой и трещинами массива. Поэтому было рекомендовано определять именно фактическую газовую вредность для конкретных горно-геологических условий, так как при проектировании вентиляции в расчетные формулы обычно вводят фактическую, исходя из предположения, что адсорбированные обрушенными породами и трещинами массива газы поступают в атмосферу продолжительное время и в небольших количествах. Как отмечает С.Ф. Шепелев [6], такое предположение не всегда правомерно, поскольку газы, находящиеся в отбитой породе, поступают в атмосферу с различной интенсивностью, обусловленной производительностью погрузки или выпуска. При этом немаловажную роль играют и условия фильтрации воздуха. Учет все взаимовлияющие факторы в натуральных условиях на фактическое газовыделение не представляется возможным.

Исходя из анализа проведенных исследований остается открытым вопрос: какую все-таки именно определять газовость ВВ – полную или фактическую. Особенно актуальным этот вопрос стал после решения Ростехнадзора об обязательной оценке газовой вредности ВВ при допуске их к постоянному применению. По нашему мнению, необходимо определять именно полную газовую вредность. И делать это на испытательных полигонах, ибо достичь одинаковых условий взрывания и заряжания в натуральных условиях не представляется возможным. Такой подход позволит применить единую для всех испытаний методику, что существенно повысит достоверность результатов испытаний.

В методическом плане это может быть осуществлено следующим образом.

1. Для обеспечения идентичных условий эксперименты необходимо производить в специальных испытательных камерах, позволяющих осуществлять взрывание зарядов достаточной массы.

2. Взрывание необходимо производить не в породном массиве, а в стальных трубах диаметром, при котором достигается устойчивая детонация зарядов, и обеспечиваются условия взрывания, сопоставимые с породным массивом.
3. Производить непрерывную регистрацию концентраций ядовитых газов с использованием многокомпонентных современных газоанализаторов.
4. Одновременно производить измерение скорости детонации с целью контроля полноты протекания детонационного процесса и выбора оптимального состава ВВ с минимальными выделениями токсичных газов.

На этих принципах Горным институтом КНЦ РАН совместно с АО «Апатит» создан подземный испытательный полигон и разработан комплекс методик, позволяющие в едином экспериментальном цикле производить оценку взрывчатых характеристик (скорость детонации, работоспособность) и газовой вредности промышленных ВВ.

Разработанный метод определения газовой вредности промышленных ВВ – это усовершенствованный бескамерный метод, без привлечения отборщиков проб, в котором используется современная аппаратура, позволяющая производить непосредственные измерения содержания выделившихся газов в исходящем потоке воздуха в течение всего периода проветривания [7; 8]. С использованием разработанных методик были проведены эксперименты по оценке детонационных характеристик и газовой вредности алюмо- и тротилсодержащих ВВ как заводского, так и местного изготовления. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

**Таблица 4**  
Газовая вредность ВВ, определенная в условиях подземного испытательного полигона по методу Горного института КНЦ РАН

**Table 4**  
Gas toxic hazard of explosives determined in underground test site conditions using the method developed at the Mining Institute of the Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences

Тип взрывчатого вещества	Содержание газов, л/кг		Газовая вредность, л/кг
	CO	NOx	
Аммонит 6ЖВ	20,7	14,1	112
Граммонит 79/21	22,7	20,6	157
Граммонит 15АП	20,7	16,2	127
Граммонит 10АП	13,9	13,4	101
Гранулит АС-8	3,4	15,7	105
Гранулит А6	5,1	18,3	124
Гранулит 5МП	9,6	14,7	105
АС-ДТ	6,0	10,3	73
Порэмит	14,9	3,0	35
ЭВВ «Сабтэк»	10,0	3,4	32

Анализ экспериментальных данных показал, что во взрывных газах тротилсодержащих ВВ общее количество оксидов азота сопоставимо с количеством CO. Для алюмо-содержащих ВВ имеет место обратное соотношение: выделяется меньшее количество окиси углерода, а наибольшее количество приходится на оксиды азота. Во взрывных газах эмульсионных ВВ присутствует в основном CO при ми-

нимальном количестве оксидов азота. Следует отметить, что полученные значения газовой вредности промышленных ВВ в полигонных условиях значительно отличаются от данных, полученных во взрывных камерах, а для эмульсионных ВВ получены сопоставимые результаты. Увеличенное содержание ядовитых газов в алюмо- и тротилсодержащих ВВ, по всей видимости, связано с тем, что при экспериментах взрывалось большое количество ВВ – от 1 до 7 кг, а время проветривания и непрерывной регистрации составляло до 1800 с, что позволяло учесть весь объем выделившихся газов по сравнению с точечными измерениями.

Если руководствоваться усредненной величиной 50 л/кг в перерасчете на условную окись углерода, то ни одно взрывчатое вещество не пригодно для использования в подземных условиях. Поэтому на испытательном полигоне были проведены эксперименты по оценке времени разбавления токсичных газов до уровня ПДК. Показано, что разбавление газов и снижение их концентрации до ПДК происходит в одном временном интервале, и в полигонных условиях при скорости воздуха в нагнетательном воздуховоде 6–8 м/с полное проветривание происходит не более чем за 20 мин (рис. 2). Поэтому, по всей видимости,

при расчете газовой вредности нет необходимости учитывать коэффициенты токсичности, достаточно простого суммирования количеств CO, NO и NO<sub>2</sub>. В данном случае все испытанные промышленные взрывчатые вещества по показателю газовой вредности могут быть допущены для подземных условий.

**Заключение**

Проведен анализ применяемых методов измерения концентрации ядовитых газов и показано, что полученные в производственных условиях результаты, отличаются от полученных при испытании в лаборатории не только по количеству, но и по составу.

Наиболее достоверную информацию о полной газовой вредности дают полигонные исследования при взрывании зарядов в стальных трубах с толщиной стенки, обеспечивающей сходимость с реальными условиями взрывания. Кроме того, в полигонных условиях можно применить единую методику исследований, что исключает разное толкование полученных результатов.

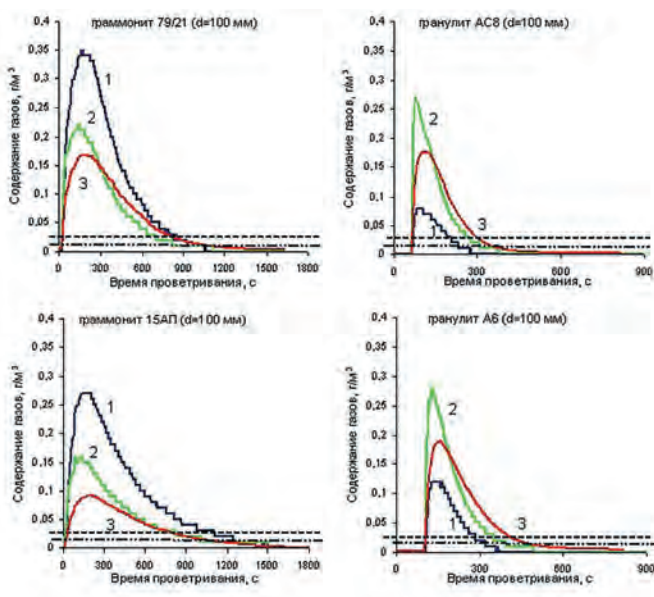
Показано, что в полигонных условиях наблюдается увеличенное содержание ядовитых газов в алюмо- и тротилсодержащих ВВ, и, по всей видимости, это связано с тем, что при экспериментах взрывалось большое количество ВВ – от 1 до 7 кг, а время проветривания и непрерывной регистрации составляло до 1800 с, что позволяло учесть весь объем выделившихся газов по сравнению с точечными измерениями.

Экспериментальная оценка времени разбавления токсичных газов до уровня ПДК при проветривании показала, что разбавление газов и снижение их концентрации до ПДК происходит в одном временном интервале, несмотря на различную токсичность.

Поэтому при расчете газовой вредности нет необходимости учитывать коэффициенты токсичности, достаточно простого суммирования количеств CO, NO и NO<sub>2</sub>. В данном случае все испытанные промышленные взрывчатые вещества по газовому фактору могут быть допущены для подземных условий.

Для эмульсионных ВВ при всех измерениях получены сопоставимые результаты, а газовая вредность соответствует требованиям России и европейских стран, т.е. не превышает граничного значения, которое составляет 50 л условной окиси углерода на килограмм взрывчатого вещества.

Результаты исследований состава взрывных газов полезны для специалистов, ведущих горные работы в подземных горных выработках, а также направлены на обеспечение более безопасных условия труда и защиту окружающей среды.



**Рис. 2**  
Количество токсичных газов, регистрируемых при проветривании выработки: 1 – CO; 2 – NO; 3 – NO<sub>2</sub>; верхняя горизонтальная линия – ПДК<sub>CO</sub>; нижняя – ПДК<sub>NO<sub>2</sub></sub>

**Fig. 2**  
Amount of toxic gases detected during gas cleaning of a mine working: 1 – CO; 2 – NO; 3 – NO<sub>2</sub>; upper horizontal line is MAC<sub>CO</sub>; lower horizontal line is MAC<sub>NO<sub>2</sub></sub>

**Список литературы**

1. Росси Б.Д. *Ядовитые газы при подземных взрывных работах*. М.: Недра; 1966. 94 с.
2. Барон В.Л., Кантор В.Х. *Техника и технология взрывных работ в США*. М.: Недра; 1989. 376 с.
3. Доманов В.П., Варнаков Ю.В., Батраков Д.Н., Плешаков К.А., Варнаков К.Ю. Исследования газовой вредности взрывчатых веществ, предназначенных для формирования скважинных зарядов. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2012;(2):51–57.

4. Zawadzka-Malota I. Testing of mining explosives with regard to the content of carbon oxides and nitrogen oxides in their detonation products. *Journal of Sustainable Mining*. 2015;14(4):173–178. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2015.12.003>
5. Парамонов П.А. Исследование образования ядовитых газов при ведении взрывных работ в угольных шахтах. В: *Труды МакНИИ, Т. 15: Вопросы безопасности в угольных шахтах*. М.: Госгортехиздат; 1963. С. 261–300.
6. Шепелев С.Ф., Кустов В.Н., Мун В.М. *Газовость промышленных взрывчатых веществ на рудниках*. Алма-Ата: Наука; 1974. 144 с.
7. Козырев С.А., Власова Е.А., Соколов А.В. *Способ определения газовой вредности промышленного взрывчатого вещества*. Патент РФ № 2407985 С2, 31.12.2008. 2010. Бюл. № 36.
8. Козырев С.А., Власова Е.А., Соколов А.В., Пугачев С.С., Михайлов А.Л. Экспериментальное определение газовой вредности современных промышленных ВВ. *Безопасность труда в промышленности*. 2008;(2):40–43. Режим доступа: <https://www.btpnadzor.ru/archive/eksperimentalnoe-opredelenie-gazovoy-vrednosti-sovremennykh-promyshlennykh-vv>

### References

1. Rossi B.D. *Poisonous gases during underground blasting operation*. Moscow: Nedra; 1966. 94 p. (In Russ.)
2. Baron V.L., Kantor V.Kh. *Blasting technique and technology in the USA*. Moscow: Nedra; 1989. 376 p. (In Russ.)
3. Domanov V.P., Varnakov Yu.V., Batrakov D.N., Pleshakov K.A., Varnakov K.Yu. *Studies of gas hazard explosives intended to form bore-hole charges*. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2012;(2):51–57.
4. Zawadzka-Malota I. Testing of mining explosives with regard to the content of carbon oxides and nitrogen oxides in their detonation products. *Journal of Sustainable Mining*. 2015;14(4):173–178. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2015.12.003>
5. Paramonov P.A. Investigation of the formation of poisonous gases during blasting operations in coal mines. In: *Trudy MakNII, vol. 15: Voprosy bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh*. Moscow: Gosgortekhizdat; 1963, pp. 261–300. (In Russ.)
6. Shepelev S.F., Kustov V.N., Mun V.M. *Blasting gases of industry explosives at the ore mines*. Alma-Ata: Nauka; 1974. 144 p. (In Russ.)
7. Kozyrev S.A., Vlasova E.A., Sokolov A.V. *A method to determine the gas toxic hazards of an industrial explosive*. Patent RU No. 2407985 C2, 31.12.2008. 2010.
8. Kozyrev S.A., Vlasova E.A., Sokolov A.V., Pugachev S.S., Mikhaylov A.L. Experimental determination of gas hazard of modern industrial explosives. *Occupational Safety in Industry*. 2008;(2):40–43. (In Russ.) Available at: <https://www.btpnadzor.ru/archive/eksperimentalnoe-opredelenie-gazovoy-vrednosti-sovremennykh-promyshlennykh-vv>

### Информация об авторах

**Козырев Сергей Александрович** – доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: [s.kozyrev@ksc.ru](mailto:s.kozyrev@ksc.ru)

**Власова Елена Анатольевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: [e.vlasova@ksc.ru](mailto:e.vlasova@ksc.ru)

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.09.2021  
Поступила после рецензирования: 04.10.2021  
Принята к публикации: 06.10.2021

### Information about the authors

**Sergey A. Kozyrev** – Dr. Sc. (Eng.), Chief Researcher, Head of Laboratory, Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: [s.kozyrev@ksc.ru](mailto:s.kozyrev@ksc.ru)

**Elena A. Vlasova** – Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: [e.vlasova@ksc.ru](mailto:e.vlasova@ksc.ru)

### Article info

Received: 16.09.2021  
Revised: 04.10.2021  
Accepted: 06.10.2021