

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-10-

УДК 622.235:622.272

© Коллектив авторов, 2022

# Исследование и разработка компонентов газогенераторных составов на основе нитрата натрия для повышения безопасности при разрушении искусственных объектов

**Ж.А. Амир**, аспирант, amirjanibek@mail.ru, **А.К. Жексембай**, магистрант (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан), **Н.В. Афанасьев**, доцент (Северо-Восточный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия), **О.М. Чернявская**, доцент (Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан), **А.А. Урымбаева**, преподаватель (МКТУ им. Х.А. Ясави, Туркестан, Республика Казахстан)

Статья посвящена исследованию и разработке газогенераторных составов на основе нитрата натрия для повышения безопасности при разрушении искусственных объектов. В качестве окислителя выбран нитрат натрия. Это обусловлено прежде всего низкой стоимостью нитрата натрия, низкой чувствительностью к механическим и детонационным воздействиям и существенно более низким содержанием вредных соединений в продуктах горения по сравнению с аналогами. Магний и углерод использовались в качестве горючего. По результатам проведенных исследований разработан газогенераторный состав:  $\text{NaNO}_3$  — 60 %,  $\text{Mg}$  — 20 %,  $\text{C}$  — 20 %, который может быть использован для направленного разрушения искусственных объектов или горных пород средней крепости с коэффициентом 8 по шкале проф. М.М. Протодьконова. Выполненные исследования и полигонные испытания показали высокую эффективность и безопасность применения разработанных газогенераторных составов для разрушения искусственных объектов.

**Ключевые слова:** газогенераторный состав, нитрат натрия, углерод, безопасность, искусственные объекты.

**Для цитирования:** Амир Ж.А., Жексембай А.К., Афанасьев Н.В., Чернявская О.М., Урымбаева А.А. Исследование и разработка компонентов газогенераторных составов на основе нитрата натрия для повышения безопасности при разрушении искусственных объектов // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 10. — С. . DOI: 10.24000/0409-2961-2022-10-

## Введение

В процессе добычи штучного камня и при разрушении бетонных и кирпичных строений в условиях плотной городской застройки очень важным является вопрос безопасности и эффективности проведения работ. Повышение эффективности разрушения для получения транспортабельных кусков сопровождается увеличением числа и дальности разлета мелких осколков, также наблюдается рост интенсивности сейсмозврывных и ударных воздушных волн.

Для того чтобы снизить бризантное воздействие при взрывных работах, используют различные методы и средства. Такие как заряды рыхления с низким удельным расходом взрывчатых веществ (ВВ), конструкции зарядов мягкого нагружения с воздушными, водяными зазорами и промежутками, заполненными инертными средами. В настоящее время при извлечении блочного камня применяют вещества, способные создавать давление в шпуре за счет реакции горения в дефлаграционном режиме [1–3].

Известны [4] газогенераторные патроны NoneX в качестве недетонационных пиротехнических средств для разрушения горных пород и искусственных преград. В этих составах в качестве окислителя применяется аммиачная селитра в смеси с бездымным порошком. Такие заряды работают в режиме дефлаграции, не создают ударных волн и дро-

бления. Пиротехнические составы, работающие в режиме дефлаграции, используются для разрушения различных конструкций без создания ударных и сейсмических волн, не образуют пыли и являются безопасными по сравнению с обычными ВВ, работающими в режиме взрыва или детонации [5–7].

Одним из требований к газогенераторным составам является высокая скорость горения. Достаточно часто для генерации газов используют нитроцеллюлозные пороха, а также ВВ с высоким содержанием азота, такие как нитрат аммония, нитрат гуанидина и нитрогуанидин. Преимущественное применение нитрата аммония в газогенераторных составах обусловлено, в частности, тем, что он является дешевым и недефицитным продуктом и при сгорании не дает твердых веществ [8].

Традиционные пиротехнические композиции, содержащие соединения свинца, ртути, бария и кадмия, являются источниками загрязнения. В начале 1960-х годов в США разработаны газогенераторные составы на основе перхлората аммония. Кроме  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$  они содержали дигидроксилглиоксим  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_4\text{N}_2$ , полиэфирные смолы и катализаторы полимеризации. Смесь, содержащая 74 %  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$  и 26 % органических веществ, имела плотность 1,63 г/см<sup>3</sup> и температуру горения 1230 °С. При 70 кгс/см<sup>2</sup> она горела со скоростью 2,7 мм/с. Дигидроксилглиок-

сим  $(C(OH) = N-O-N)_2$  имеет теплоту образования 136 ккал/моль (570 кДж/моль), он малорастворим в воде и негигроскопичен [9].

В настоящее время углеродные материалы, полученные на основе вторичного растительного сырья, находят широкое применение в различных отраслях промышленности, где они используются как катализаторы и адсорбенты. Эти материалы могут найти применение и в пиротехнике при создании газообразующих систем. В работе использовался активированный уголь двух типов: полученный из скорлупы грецкого ореха и в виде продукта утилизации противогазных адсорбентов. Технологии приготовления углерода из грецкого ореха подробно описаны в работе [10].

Активированный уголь как адсорбент применяется не только в противогасах, но и для очистки воздуха на промышленных предприятиях, для осветления различных растворов и т.п. Высокая адсорбционная способность активированного угля объясняется сильно развитой поверхностью. Суммарная поверхность пор, имеющихся в 1 г такого угля, составляет от 300 до 1000 м<sup>2</sup>. Такая огромная площадь обуславливает возникновение большого избытка поверхностной энергии на границе уголь — газ. За счет свободной поверхностной энергии происходит адсорбция газа, т.е. повышение его концентрации в поверхностном слое угля при одновременном понижении концентрации примесного газа в окружающем пространстве [11].

Начиная с XX в. для использования в качестве газогенераторного состава подробно экспериментально исследована двухкомпонентная смесь  $NaNO_3 + Mg$  в разных соотношениях компонентов и условиях. В работе [12] представлены результаты экспериментальных исследований по определению скорости горения смеси  $NaNO_3 + Mg$ . Однако работы по исследованию горения трехкомпонентного состава  $NaNO_3 + Mg + C$  практически отсутствуют.

В работе поставлена цель исследовать влияние углеродных порошков различной природы на горение газогенераторных составов на основе нитрата натрия и магния. Предварительно проведен термодинамический анализ процессов газификации многокомпонентных составов с использованием универсальной программы расчета гетерогенных систем TERRA [13], разработанной для высокотемпературных процессов.

#### Экспериментальная часть

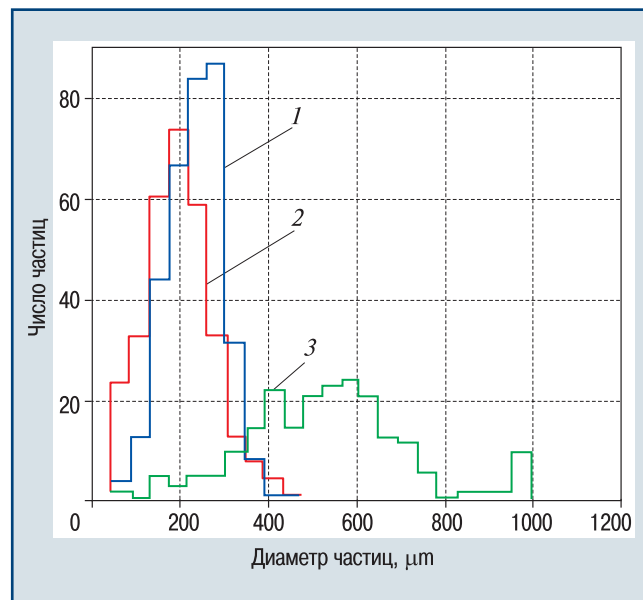
Для приготовления исходных смесей состава  $NaNO_3 + Mg + C$  использовались порошок нитрата натрия технического (ГОСТ 19906—74\*), а также порошки магния (Mg) марки МПФ-3, частицы углерода из противогаса и скорлупы грецкого ореха.

Гранулометрический анализ фракций проводили с использованием проекционного микроскопа и по-

луавтоматического 24-канального счетного устройства. В качестве препарата использовали либо всю фракцию, либо выборку, взятую квартованием.

Образцы углерода были размельчены и рассеяны на ситах; в опытах в основном использовалась фракция 100÷200 мкм. Готовые для сжигания смеси помещали в бумажные гильзы. Масса образца составляла 4 г, насыпная плотность образцов была в интервале 0,8–0,9 г/см<sup>3</sup>. Процесс горения регистрировался видеокамерой с частотой 300 кадров в секунду. Для обработки видеозаписи использовали программу VirtualDub<sup>1</sup>.

Из порошкообразных компонентов готовили образцы для сжигания на воздухе. Компоненты взвешивали на электронных весах «Сартогосм» MB 210-A и перемешивали вручную в фарфоровой ступке. Совокупную функцию распределения частиц по размерам исходных компонентов в диапазоне размеров от 10 мкм до максимального строили с помощью оригинальной компьютерной программы, разработанной в ИХКГ СО РАН<sup>2</sup>. Результаты обработки измерений для частиц магния, нитрата натрия и углерода из противогаса приведены на рис. 1 (здесь 1 — углерод из противогаса; 2 — магний; 3 — нитрат натрия).



▲ Рис. 1. Счетные гистограммы распределения частиц по размеру

▲ Fig. 1. Counting histograms of particle size distribution

Скорость горения составов измеряли методом перегорающих проволочек [14]. Для измерений скорости горения составов приготовлены образцы диаметром 13 мм и высотой 25 мм. Компоненты тщательно перемешивали и засыпали в бумажную гильзу. Минимальное уплотнение обеспечивалось постукиванием

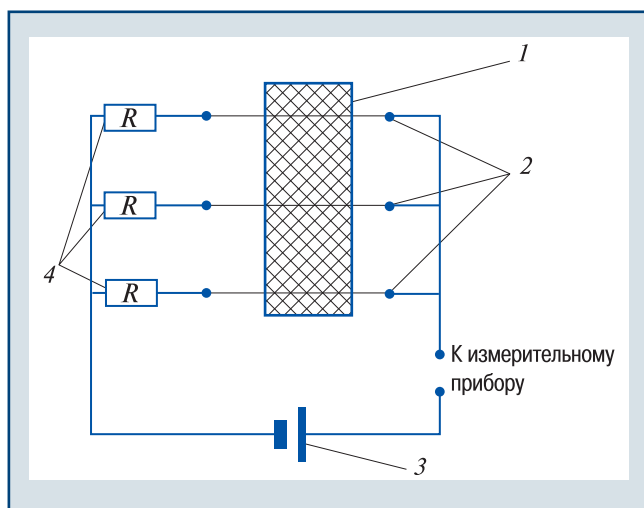
<sup>1</sup> Популярный видеоредактор, предназначенный для захвата, монтажа и редактирования видеоматериалов различных форматов.

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук.

\* Нитрит натрия технический. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019079> (дата обращения: 01.07.2022).

гильзы, при этом достигалась относительная плотность смеси, равная 0,55. Опыты проводились при атмосферном давлении на открытом воздухе.

Горение инициировалось пламенем газовой горелки с верхнего открытого торца бумажной гильзы, на который помещали пиротехническую намазку, состоящую из перхлората аммония и горючей связки НТРВ (англ. hydroxyl-terminated polybutadiene — полибутадиеен с концевыми гидроксильными группами). Для измерения температуры в волне горения использовали вольфрам-рениевые термопары (BP5/BP20) диаметром 100 мкм, закрепленные в образце на фиксированном расстоянии друг от друга, что давало дополнительную информацию о скорости горения. Сигналы термопар подавались на аналого-цифровой преобразователь ЛА-2USB-14 и далее на компьютер. Принципиальная схема измерения скорости горения методом перегорающих проволок представлена на рис. 2 (здесь 1 — заряд исследуемого вещества; 2 — перегорающие проволоки; 3 — источник питания; 4 — сопротивление перегорающих проволок).



▲ Рис. 2. Принципиальная схема измерения скорости горения методом перегорающих проволок

▲ Fig. 2. Schematic diagram for measuring the combustion rate by the method of burnout wires

Суть этого метода заключается в том, что в заряде на определенном расстоянии в диаметральном направлении сверлят сквозные каналы, причем оси каналов должны быть строго параллельны. Через каналы пропускают проволоку диаметром 0,01–0,03 мм из электропроводящего материала с температурой плавления не выше 1000 °С. На проволоочки подается небольшое напряжение. При прохождении фронта пламени он поочередно пережигает проволоочки, что приводит к скачкообразному изменению тока в цепи. Изменение тока фиксируется с помощью тестера. Зная расстояние между проволоочками и время сгорания участка заряда между ними (из видеозаписи), легко определить скорость горения.

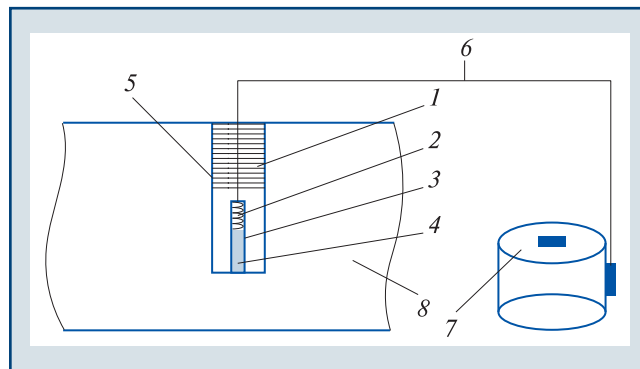
Состав реакционных смесей и продуктов горения исследовали с помощью рентгенофазового анализа

(РФА). Рентгенограммы снимали на дифрактометре ДРОН-4,0 в  $\text{CuK}\alpha$ -излучении.

Составы готовились с различным соотношением компонентов: порошок нитрата аммония использовался в качестве окислителя, порошок алюминия марки ПА-4 — в качестве горючего, порошок технического углерода — как газообразующий агент.

Термодинамические расчеты проведены при давлении 0,1 МПа с помощью программы TERRA, усовершенствованной и предназначенной для работы на ЭВМ. Программа TERRA основана на принципе максимума энтропии, имеет обширную базу данных по термодинамическим свойствам веществ и позволяет получить полную информацию термодинамического анализа. Программа отличается высоким быстродействием и простотой в использовании. Для старта работы в программе TERRA задаются исходный состав сырья в мольных долях, давление  $P = 0,1$  МПа и энтальпия образования  $I_{\text{исх}}$ .

Разрушение бетонного блока проводилось по схеме, представленной на рис. 3 (здесь 1 — быстротвердевающая смесь (цемент +  $\text{CaCl}_2$ ); 2 — спираль накаливания; 3 — пиротехнический патрон; 4 — газогенераторный состав; 5 — шпур; 6 — кабель; 7 — лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); 8 — камень).



▲ Рис. 3. Схема эксперимента

▲ Fig. 3. Experimental scheme

Бурение шпура 5 велось ручными перфораторами. Диаметр шпура — 5 см, глубина шпура — 30 см. В целях создания замкнутого объема устье шпура герметично заделывалось быстротвердеющими смесями 1. Заряды 4 в шпурах формировали из полипропиленового патрона 3 диаметром 10 мм, высотой 30 мм (рис. 4). Заряд инициировали с помощью спирали накаливания 2, концевые отрезки спирали подсоединяли к кабелю 6. Импульс подавался от ЛАТР 7 через кабель 6.

#### Результаты и их обсуждение

Настоящая работа является продолжением исследований [5, 15]. В качестве окислителя газогенераторных составов использовался нитрат натрия. Это обусловлено прежде всего низкой стоимостью нитрата натрия, низкой чувствительностью к механиче-



▲ Рис. 4. Общий вид пиротехнического патрона массой 40 г  
▲ Fig. 4. General view of a pyrotechnic cartridge weighing 40 g

ским и детонационным воздействиям и существенно более низким содержанием вредных соединений в продуктах горения по сравнению с аналогами.

Для нахождения оптимального соотношения между окислителем ( $\text{NaNO}_3$ ) и горючим ( $\text{Mg} + \text{C}$ ) проведены сравнительные расчеты равновесных термодинамических характеристик данного состава.

Результаты и основные параметры термодинамического расчета состава при разных соотношениях компонентов ( $\text{NaNO}_3 + \text{Mg} + \text{C}$ ) представлены в табл. 1. В таблице приведены адиабатическая температура

$T$ , газовая постоянная  $R$ , газопроизводительность  $V$  и работоспособность продуктов сгорания  $RT$ .

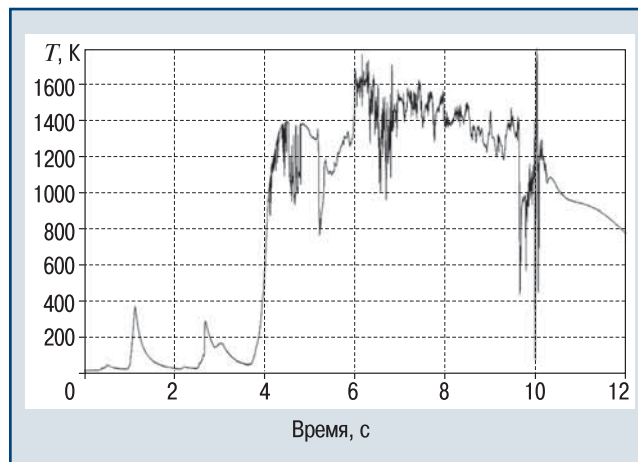
Предварительные эксперименты показали, что при малом содержании углерода горение смеси происходит с высокой скоростью в конвективном режиме. Равномерное распространение пламени зарегистрировано в волне горения состава 60 + 20 + 20. Соответственно, в качестве рабочего выбран состав с соотношением компонентов 60 % —  $\text{NaNO}_3$ , 20 % —  $\text{Mg}$ , 20 % —  $\text{C}$ , отличающийся достаточно высокими значениями газопроизводительности и параметра  $RT$ , пропорционального работоспособности смеси.

Методом перегорающих проволок определены скорости горения газогенераторных составов № 1 и 2 (табл. 2). Скорость горения состава на основе

высокой реакционной способностью углерода из грецкого ореха.

Измерения температуры в газовой фазе над поверхностью образца проводились с помощью вольфрам-рениевой термопары, установленной на высоте 1 см от образца; эксперимент повторялся 3–4 раза.

На рис. 5 и 6 показаны записи температуры в пламени состава 60 % —  $\text{NaNO}_3$ , 20 % —  $\text{Mg}$ , 20 % —  $\text{C}$  с варьруемым типом углерода.



▲ Рис. 5. Температура пламени состава 60 % —  $\text{NaNO}_3$ , 20 % —  $\text{Mg}$ , 20 % —  $\text{C}$ , углерод 100÷200 мкм из противогоза

▲ Fig. 5. Temperature in the flame of the composition 60 % —  $\text{NaNO}_3$ , 20 % —  $\text{Mg}$ , 20 % —  $\text{C}$ , carbon 100÷200 microns from the gas mask

Начальный отрезок на термограммах соответствует зажиганию и горению воспламенительного состава. В случае смесей с углеродом из противогоза температура в пламени достигает примерно 1400 К. Это приблизительно на 500 К ниже термодинамического расчета. В случае углерода из грецкого ореха температура в пламени близка к термодинамически рассчитанной. Можно полагать, что в последнем случае полнота горения в газовой фазе более

Таблица 1

Параметр	Соотношение компонентов ( $\text{NaNO}_3 + \text{Mg} + \text{C}$ )						
	90 + 10 + 0	8 + 10 + 5	80 + 10 + 10	75 + 10 + 15	70 + 15 + 15	65 + 20 + 15	60 + 20 + 20
$T$ , К	1634	2033	2254	2682	2857	2924	1954
$V$ , м <sup>3</sup> /кг	2,70	3,62	4,90	5,96	6,22	6,30	4,80
$R$ , Дж/(кг·К)	269	277	261	266	281	294	314
$RT$ , Дж/кг	438 874	562 232	587 843	712 339	803 020	859 987	614 705

Таблица 2

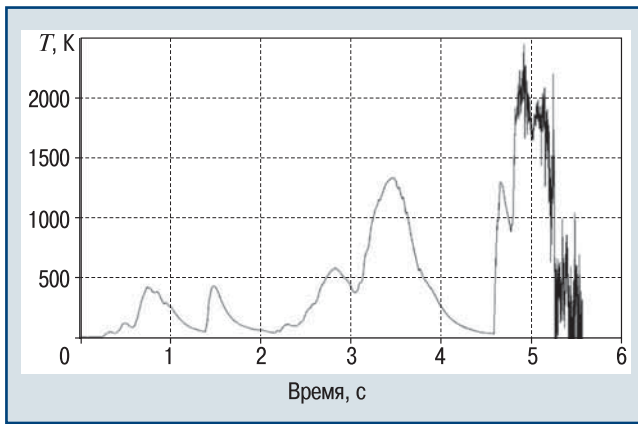
Состав	Высота гильзы, мм	Диаметр гильзы, мм	Скорость горения состава, мм/с
№ 1	10	13	1,7–2,1
№ 2	10	13	4,0–5,0

углерода из грецкого ореха приблизительно вдвое выше, чем в случае углерода из противогоза, это объясняется большей удельной поверхностью и более

высокая, что обусловлено большей удельной поверхностью и более высокой реакционной способностью углерода из грецкого ореха. Неравномерность температурной кривой объясняется тем, что смесь была крупнозернистой и насыпной плотности.

Результаты РФА конденсированных продуктов горения смесей 60 % —  $\text{NaNO}_3$ , 20 % —  $\text{Mg}$ , 20 % —  $\text{C}$ , содержащих углерод из противогоза и грецкого ореха, показаны соответственно на рис. 7 и 8 (здесь

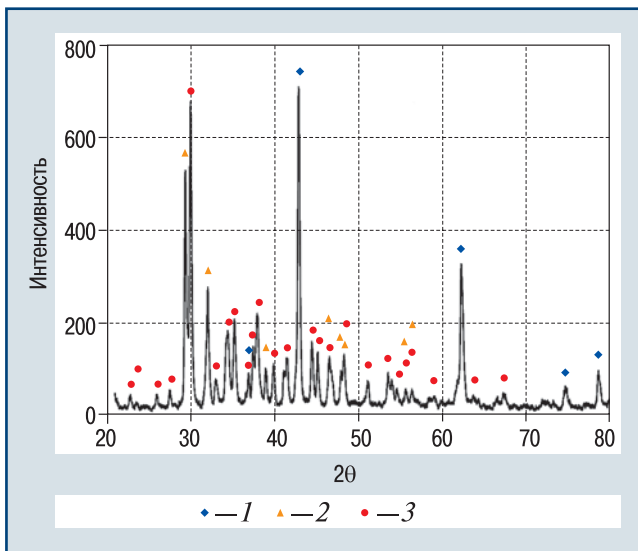




▲ Рис. 6. Температура пламени состава 60 % –  $\text{NaNO}_3$ , 20 % –  $\text{Mg}$ , 20 % –  $\text{C}$ , углерод 100÷200 мкм из грецкого ореха

▲ Fig. 6. Flame temperature of composition 60 % –  $\text{NaNO}_3$ , 20 % –  $\text{Mg}$ , 20 % –  $\text{C}$ , carbon 100÷200 microns from walnut

1 –  $\text{MgO}$  (4-829)<sup>1</sup>; 2 –  $\text{NaNO}_3$  (1-840), (7-271); 3 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (19-1130), (37-451);  $\theta$  – угол между падающим лучом и плоскостью отражения).

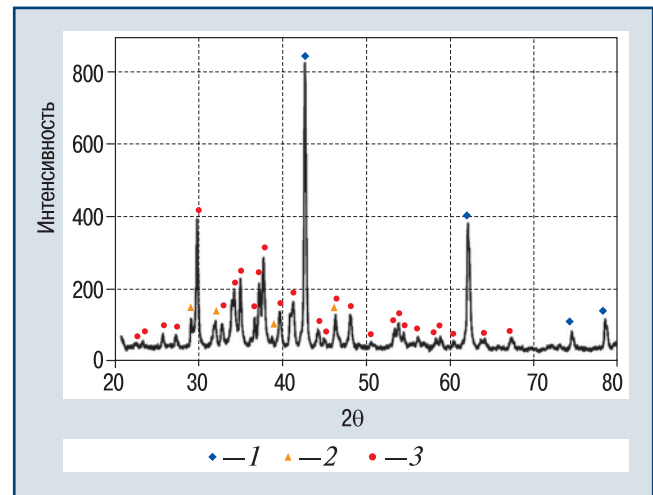


▲ Рис. 7. Результаты РФА продуктов горения состава 60 % –  $\text{NaNO}_3$ , 20 % –  $\text{Mg}$ , 20 % –  $\text{C}$  (углерод из противогаза)

▲ Fig. 7. The results of X-ray phase analysis of combustion products of the composition 60 % –  $\text{NaNO}_3$ , 20 % –  $\text{Mg}$ , 20 % –  $\text{C}$  (carbon from a gas mask)

По данным РФА, основными фазами в продуктах горения исследуемой смеси являются оксид магния и карбонат натрия. Однако регистрируется также частично не прореагировавший исходный окислитель — нитрат натрия, причем на качественном уровне его содержание в продуктах горения состава на основе углерода из противогаза более высокое, чем в

<sup>1</sup> Здесь и далее значения по картотеке Объединенного комитета дифракционных стандартов (Joint Committee on Powder Diffraction Standards — JCPDS).



▲ Рис. 8. Результаты РФА продуктов горения состава 60 % –  $\text{NaNO}_3$ , 20 % –  $\text{Mg}$ , 20 % –  $\text{C}$  (углерод из грецкого ореха)

▲ Fig. 8. The results of X-ray phase analysis of combustion products of the composition 60 % –  $\text{NaNO}_3$ , 20 % –  $\text{Mg}$ , 20 % –  $\text{C}$  (carbon from walnut)

случае состава на основе углерода из грецкого ореха. Это объясняется тем, что в процессе горения выделяются газовые продукты, что приводит к частичному диспергированию исходных компонентов в волне горения, наиболее выраженному в случае углерода из противогаза.

Исследуемый состав сравнивали с традиционными взрывчатыми составами. Сравнение расчетных характеристик составов представлено в табл. 3. Как видно, ВВ характеризуются большой работоспособностью и высокой плотностью. А при использовании состава авторов имеет место снижение этих характеристик, что позволяет исключить бризантное и фугасное действие взрыва. Это свидетельствует о том, что разработанный состав работает в режиме дефлаграции и является безопасным по сравнению с традиционными ВВ.

Таблица 3

Наименование ВВ	Характеристики ВВ	
	Работа взрыва, кДж/кг	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Граммонит 79/21	3562,0	1,10–1,30
Гранулит АС-8В	4001,0	1,10–1,25
Гранулит АС-4В	3645,0	1,05–1,20
Аммонит скальный № 1	4420,0	1,40–1,58
Аммонит № 6ЖВ	3562,0	1,00–1,20
Детонит М	4316,0	1,00–1,20
Акванит № 16	4483,0	1,450–1,500
$\text{NaNO}_3 + \text{Mg} + \text{C}$	614,7	0,10–0,70

### Полигонные испытания

Разработан газогенераторный состав пиротехнического патрона, имеющий следующие компоненты:  $\text{NaNO}_3$  — 60 %;  $\text{Mg}$  — 20 %;  $\text{C}$  — 20 % (из противогаза). Для изучения работоспособности этого

газогенераторного состава изготовлен монолитный бетонный блок с размером ребра 60 см. Во время заливки бетонной смесью в центре куба сделано сквозное отверстие диаметром 30 мм для размещения газогенераторного состава. Масса газогенераторного состава — 54 г.

В шпур вводился пиротехнический патрон (состав № 1:  $\text{NaNO}_3 + \text{Mg} + \text{C}$ ) (рис. 9).



▲ Рис. 9. Монолитный бетонный блок с составом № 1  
▲ Fig. 9. Monolithic concrete block with composition № 1

В полигонных условиях проведены исследования по разрушению монолитного бетонного блока путем инициирования заряда газогенераторного состава  $\text{NaNO}_3 + \text{Mg} + \text{C}$  спиралью накаливания (нихром). Бетонный блок, разрушенный газогенераторным составом, приведен на рис. 10. После подачи импульса от ЛАТР на спираль накаливания заряд сработал и бетонный блок был разрушен без разлета мелких фрагментов. Из этого можно сделать вывод, что при срабатывании газогенераторного состава  $\text{NaNO}_3 - 60\%$ ,  $\text{Mg} - 20\%$ ,  $\text{C} - 20\%$  происходило эффективное разложение нитрата натрия в замкнутом пространстве. При этом данный состав претерпевает физико-химическое превращение в режиме дефлаграционного горения.

В результате проведенных работ создан газогенераторный состав  $\text{NaNO}_3 - 60\%$ ,  $\text{Mg} - 20\%$ ,  $\text{C} - 20\%$ , который может быть использован для направленного разрушения в режиме дефлаграции крепких пород с коэффициентом крепости 8. Изучены характеристики горения газогенераторных составов на основе нитрата натрия. Проведены термодинамические расчеты параметров горения газогенераторных составов с добавками углеродных порошков. Полигонными испытаниями показана эффективность разработанных газогенераторных составов, работающих в дефлаграционном режиме. Переход на низкоскоростной режим химического превращения газогенераторного состава — дефлаграцию — позволяет полностью исключить бризантное действие в зоне контакта пиротехнического патрона со стенками зарядной камеры. Кроме того, применение этих патронов делает процесс заряжания технологичным, а обращение с ними при хранении,



▲ Рис. 10. Бетонный блок после сгорания газогенераторного состава:  $\text{NaNO}_3 - 60\%$ ,  $\text{Mg} - 20\%$ ,  $\text{C} - 20\%$   
▲ Fig. 10. Concrete block after combustion of gas generator composition:  $\text{NaNO}_3 - 60\%$ ,  $\text{Mg} - 20\%$ ,  $\text{C} - 20\%$

перевозке и использовании — более безопасным. Эти патроны не срабатывают от капсюль-детонаторов и от других штатных инициаторов детонационного превращения ВВ, они создают давление только при горении в замкнутом объеме.

Основная особенность полигонных испытаний заключается в том, что они не требуют дорогостоящего оборудования, отличаются простотой и быстротой процесса.

#### Заключение

Разработан газогенераторный состав на основе нитрата натрия для повышения безопасности при разрушении искусственных объектов. Лабораторно-полигонными исследованиями подтверждены эффективность и безопасность использования газогенераторных составов при разрушении бетонного блока. Разрушение бетонного блока происходило без разлета отдельных фрагментов камня, формирования и распространения ударной воздушной волны.

#### 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, Sh.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. *Исследование эффективности разрушения железобетонных конструкций газогенераторами типа ГХП/ М.Г. Горбонос, В.А. Белин, Е.А. Мамонов и др.// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2007. — № S7. — С. 159–168.*
4. *Березуев Ю.А., Евграфов Л.В., Кундышев М.В. ГДШ — перспективный инструмент для проведения уникальных*

строительно-демонтажных работ// Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. — 2007. — № 2. — С. 101–103.

5. *Исследование* и разработка компонентов газогенераторных составов на основе нитрата аммония для повышения безопасности производства взрывных работ/ Д.А. Байсейтов, М.И. Тулепов, Ж.А. Амир и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 11. — С. 47–52. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-11-47-52

6. Сахно И.Г., Касьян Н.Н. Направленное разрушение горных пород невзрывчатыми разрушающими смесями// Girmichiy Visnyk. — 2013. — № 96. — С. 16–20.

7. Парамонов Г.П., Ковалевский В.Н., Мозер П. Повышение сохранности минерального сырья при отделении монолита от массива горных пород с использованием газогенераторных патронов// Записки Горного института. — 2016. — Т. 220. — С. 532–537.

8. *Investigation of Combustion and Thermal analysis of ammonium nitrate with carbonaceous materials*/ M.K. Atamanov, I. Noboru, T. Shotaro et al.// Combustion Science and Technology. — 2016. — Vol. 188. — № 11–12. — P. 2003–2011. DOI: 10.1080/00102202.2016.1220143

9. *Manganese as fuel in slow-burning pyrotechnic time delay compositions*/ D. Swanepoel, O. Del Fabbro, F.W. Walter, C. Conradie// Propellants, Explosives, Pyrotechnics. — 2010. — Vol. 35. — № 2. — P. 105–113. DOI: 10.1002/prep.200900005

10. *Applications of Activated Carbon Sorbents Based on Greek Walnut*/ S. Azat, R. Busquets, V.V. Pavlenko et al.// Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 467. — P. 49–51. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.467.49

11. Синтез высокоэффективных сорбентов из скорлупы грецкого ореха/ Б.А. Темирханов, З.Х. Султыгова, Р.Д. Арчакова, З.С.-А. Медова// Сорбционные и хроматографические процессы. — 2012. — Т. 12. — № 6. — С. 1025–1032.

12. *Получение, активация и модификация углеродного материала из скорлупы грецкого ореха*/ Н.Г. Габрук, И.И. Олейникова, Т.А. Шутеева, Д.Е. Смальченко// Научные ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». — 2013. — Вып. 24. — № 7 (160). — С. 114–116.

13. Трусов Б.Г. Программная система моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах// Инженерный журнал: наука и инновации. — 2012. — № 1 (1). DOI: 10.18698/2308-6033-2012-1-31

14. *Методы исследования горения энергетических материалов*/ В.П. Синдицкий, В.Ю. Егоршев, М.В. Березин, В.В. Серушкин. — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. — 104 с.

15. *Использование энергии пиросостава на основе нитрата аммония для безопасного разрушения бетонных блоков*/ Ж.А. Амир, Д.А. Байсейтов, А.С. Ахинжанова и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 3. — С. 14–19. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-3-14-19

amirjanibek@mail.ru

Материал поступил в редакцию 25 августа 2022 г.

Доработанная версия — 26 сентября 2022 г.

«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 10, pp. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-10-

## Research and Development of the Components of Gas Generating Compositions based on Sodium Nitrate for Improving Safety during Artificial Objects Destruction

Zh.A. Amir, Candidate, amirjanibek@mail.ru

A.K. Zhexembay, Graduate Student

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

N.V. Afanasev, Assoc. Prof.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

O.M. Chernyavskaya, Assoc. Prof.

Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, Republic of Kazakhstan

A.A. Urymbayeva, Lecturer

International Kazakh-Turkish University named after Kh.A. Yassavi, Turkestan, Republic of Kazakhstan

### Abstract

In the process of extraction of the piece stone and in the destruction of concrete and brick buildings in dense urban areas, the issue of safety and efficiency of work is very important. For reducing the percussive action during blasting operations, various methods and means are used. Currently, when extracting block stone, the substances are used that can create pressure in the hole due to the combustion reaction in the deflagration mode.

The article is devoted to the research and development of gas-generating compositions based on the sodium nitrate to improve safety during the destruction of artificial objects. Sodium nitrate was chosen as an oxidizer, this is primarily due to the low cost of sodium nitrate, low sensitivity to mechanical and detonation effects, and a significantly lower content of harmful compounds in the combustion products compared to analogues. Magnesium and carbon (from a gas mask and walnut) were used as fuel. Tests for the flammability of mixtures and thermodynamic calculations of combustion parameters were carried out to determine the optimal ratio of the initial components. It was established that a sufficiently high efficiency and uniformity of combustion are observed at a ratio of the initial components of 60 % — NaNO<sub>3</sub>, 20 % — Mg, 20 % — C. X-ray phase analysis of solid combustion products was carried out. It is shown that the main products are magnesium oxide and sodium carbonate. Field experiments on the destruction of concrete blocks were carried out. The performed studies and field tests showed high efficiency and safety of the use of the developed gas generator composition for the destruction of artificial objects, which can be used for the directed destruction of artificial objects or rocks of medium strength with a coefficient of 8 on the scale of the professor M.M. Protodyakonov. The destruction of the concrete block occurred without the scattering of individual stone fragments, the formation and propagation of a shock air wave.

**Key words:** gas generator composition, sodium nitrate, carbon, safety, artificial objects.

### 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 Sh.E., Rakhova N.M., Sassykova L.R., Baiseitov D.A., Elemesova Zh., Korchagin M.A., Sendilvelan 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. Gorbonos M.G., Belin V.A., Mamonov E.A., Dmitriev A. Yu., Kirsanov O.N. Investigation of the efficiency of destruction of the reinforced concrete structures by chlorate cartridge gas generators type. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2007. № S7. pp. 159–168. (In Russ.).

4. Berezuev Yu.A., Evgrafov L.V., Kundyshev M.V. Bore hole pressure gas generator — a promising tool for unique construction and dismantling works. *Visnik Kremenchutskogo natsionalnogo universitetu imeni Mikhayla Ostrogradskogo = Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*. 2007. № 2. pp. 101–103. (In Ukr.).

5. Bayseytov D.A., Tulepov M.I., Amir Zh.A., Orazbaev A.E., Tursynbek S. Study and Development of the Components of Gas Generator Compositions Based on the Ammonium Nitrate to Improve Blasting Operations Safety. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2021. № 11. pp. 47–52. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2021-11-47-52

6. Sakhno I.G., Kasan N.N. Directional destruction of rocks by non-explosive destructive mixtures. *Girmichiy Visnyk = Mining Journal*. 2013. № 96. pp. 16–20. (In Ukr.).

7. Paramonov G.P., Kovalevskiy V.N., Mozer P. Improving the retention of minerals in the course of separating monolith from bedrock with the use of gas generator cartridges. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2016. Vol. 220. pp. 532–537. (In Russ.).

8. Atamanov M.K., Noboru I., Shotaro T., Amrousse R., Tulepov M.Y., Kerimkulova A.R., Hobosyan M.A., Hori K., Martirosyan K.S., Mansurov Z.A. Investigation of Combustion and

Thermal analysis of ammonium nitrate with carbonaceous materials. *Combustion Science and Technology*. 2016. Vol. 188. № 11–12. pp. 2003–2011. DOI: 10.1080/00102202.2016.1220143

9. Swanepoel D., Del Fabbro O., Walter F.W., Conradie C. Manganese as fuel in slow-burning pyrotechnic time delay compositions. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2010. Vol. 35. № 2. pp. 105–113. DOI: 10.1002/prep.200900005

10. Azat S., Busquets R., Pavlenko V.V., Kerimkulova A.R., Whitby R.L.D., Mansurov Z.A. Applications of Activated Carbon Sorbents Based on Greek Walnut. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 467. pp. 49–51. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.467.49

11. Temirkhanov B.A., Sultygova Z.Kh., Archakova R.D., Medova Z.S.-A. Synthesis of highly effective sorbents of walnut shell. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy = Sorption and chromatography processes*. 2012. Vol. 12. № 6. pp. 1025–1032. (In Russ.).

12. Gabruk N.G., Oleynikova I.I., Shuteeva T.A., Smalchenko D.E. Obtaining, activation and modification of the carbon material from the shell of walnut. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. «Estestvennyye nauki» = Scientific Bulletins of BelsU. Natural Sciences*. 2013. Iss. 24. № 7 (160). pp. 114–116. (In Russ.).

13. Trusov B.G. Code system for simulation of phase and chemical equilibriums at higher temperatures. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii = Engineering Journal: Science and Innovation*. 2012. № 1 (1). (In Russ.). DOI: 10.18698/2308-6033-2012-1-31

14. Sinditskiy V.P., Egorshchikov V.Yu., Berezin M.V., Serushkin V.V. Methods for research of the energy materials combustion. Moscow: RKhTU im. D.I. Mendeleeva, 2010. 104 p. (In Russ.).

15. Amir Zh.A., Bayseytov D.A., Akhinzhanova A.S., Aysarova T.A., Prikhodko A.A. Use of the Pyrocomposition Energy based on the Ammonium Nitrate for Safe Destruction of the Concrete Blocks. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2022. № 3. pp. 14–19. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2022-3-14-19

Received August 25, 2022

In final form — September 26, 2022