

УДК 622.235

Флягин Александр Сергеевич
младший научный сотрудник,
лаборатория разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: flyingdr@mail.ru

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ
ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭМУЛЬСИОННЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ
ДЕТОНАТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДЕТОНАЦИОННОГО ПРОЦЕССА***

Аннотация:

В статье представлено исследование по определению физических характеристик промежуточных детонаторов, изготовленных из ЭВВ. При проведении исследований применялись интерпретация, анализ и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Используемые в настоящее время промышленные ВВ целенаправленно (по соображениям безопасности при изготовлении, хранении, перевозке и применении) создают малочувствительными к инициирующему импульсу первичных средств инициирования – (капсулей-детонаторов, детонирующих шнуров). Для возбуждения и поддержания детонации в зарядах таких ВВ используют промежуточные детонаторы: заряды небольшой массы, представляющие собой чувствительное к вышеуказанным первичным средствам инициирования ВВ, размещенное в оболочку для сохранения формы такого заряда, снабженное устройствами для ввода и крепления первичных средств инициирования. Для обеспечения полноты детонации скважинного заряда ЭВВ необходимо согласовать параметры заряда ЭВВ и ПД, что достигается регулируемым воздействием на характеристики ЭВВ (начальная плотность, структура и рецептура), на конструкцию заряда ЭВВ и на параметры ПД, связанные как с его характеристиками (ВВ, из которого изготовлен ПД, размеры ПД), так и условиями его применения (место установки ПД в заряде ЭВВ, конструкция ПД, установка нескольких ПД / многоточечное инициирование и (или) встречное инициирование).

Экспериментальными данными, полученными в условиях полигона, подтверждаются теоретические положения о детонации зарядов. В экс-

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.04.109

Flyagin Alexander S.
Junior Researcher,
Laboratory of rock destruction,
Institute of Mining UB RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: flyingdr@mail.ru

**THEORETICAL ASSESSMENT
OF THE IMPACT PHYSICAL
CHARACTERISTICS OF EMULSION
INTERMEDIATES DETONATORS ON
CHARACTERISTICS OF DETONATION
PROCESS**

Abstract:

The article describes the study on the determination of the physical characteristics of intermediate detonators made of EE. The research applies interpretation, analysis and generalization of the results of theoretical and experimental studies.

Currently used industrial explosives are purposefully (for safety reasons during manufacture, storage, transportation, and use) are less insensitive to the initiating pulse of the primary means of initiation (detonator caps, detonating cords). Intermediate detonators are used to excite and maintain detonation in charges of such explosives: charges of small mass, which are explosives sensitive to the above-mentioned primary means of initiation, placed in a shell to preserve the shape of such a charge, equipped with devices for inserting and attaching primary means of initiation. To ensure the completeness of the detonation of the downhole charge of the explosives, it is necessary to coordinate the parameters of the EE and ID charge, which is achieved by regulating the characteristics of the EE (initial density, structure and formulation), the design of the EE charge and the ID parameters related to both its characteristics (the explosive from which the ID is made, the size of the ID), and the conditions of its applications (location of the ID in the EE charge, ID design, installation of multiple ID / multipoint initiation and (or) counter initiation).

Experimental data obtained in the conditions of the test site confirm the theoretical provisions on the detonation of charges. In the experiment, the explosive NPGM-P-II-M and NPGM-70, NPGM-100 were used as the main charge. Initiation was performed from an ED-8 electric detonator. NPGM-P-II-M was sensitized with ForeSphere glass microspheres. NPGM-70 and NPGM-100 are sensitized by the gas-generating additive sodium nitrite. The

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПР, тема 1 (2022-2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), пер. №1021062010531-8-1.5.1, а также при дополнительном привлечении хозяйственных средств.

перименте использовалось в качестве ПД взрывчатое вещество НПГМ-П-П-М и НПГМ-70, НПГМ-100 в качестве основного заряда. Иницирование производилось от электродетонатора ЭД-8. НПГМ-П-П-М сенсублизовано стеклянными микросферами ForeSphere. НПГМ-70 и НПГМ-100 сенсублизовано газогенерирующей добавкой нитрит натрия. Для НПГМ-100 критический диаметр 75 мм, а НПГМ-75 – 90 мм; диаметр ПД равен диаметру основного заряда.

Ключевые слова: эмульсионное взрывчатое вещество, взрывные работы, разрушение горных пород, скорость детонации, критический диаметр, начальный импульс, плотность, промежуточный детонатор.

critical diameter for NPGM-100 is 75 mm, and for NPGM-75 it is 90 mm; the diameter of the ID is equal to the diameter of the main charge.

Key words: emulsion explosive, blasting, rock destruction, detonation velocity, critical diameter, initial pulse, density, intermediate detonator.

Введение

Известно, что на скорость детонации и характеристики детонационного процесса оказывают влияние как химические характеристики (теплота взрыва), так и физические характеристики заряда взрывчатого вещества (ВВ): его диаметр, плотность, агрегатное состояние, размер частиц, однородность, наличие оболочек и др. [1 – 3]. Начальным импульсом называется определенное количество внешней энергии, которое необходимо приложить к заряду для начала процесса взрывчатого превращения ВВ, а иницированием называется сам процесс приложения начального импульса к заряду. Чувствительностью ВВ называется его восприимчивость к определенному виду внешнего воздействия [4, 5].

Необходимая минимальная величина начального импульса зависит от чувствительности ВВ и степени восприимчивости к внешним воздействиям и различается для разных типов ВВ [6]. Большинство крупных горнодобывающих предприятий перешло на приготовление смесевых ВВ непосредственно на местах применения. Одним из положительных эффектов данного перехода является механизация изготовления и заряжания ВВ в скважины, а отрицательным – снижение качества заряда ВВ, особенно эмульсионных ВВ (ЭВВ) относительно применения индивидуальных ВВ. Используемые в настоящее время промышленные ВВ целенаправленно (по соображениям безопасности при изготовлении, хранении, перевозке и применении) создают малочувствительными к иницирующему импульсу первичных средств иницирования (капсюлей-детонаторов, детонирующих шнуров). Для возбуждения и поддержания детонации в зарядах таких ВВ используют промежуточные детонаторы: заряды небольшой массы, представляющие собой чувствительное к вышеуказанным первичным средствам иницирования ВВ, размещенное в оболочке для сохранения формы такого заряда, снабженное устройствами для ввода и крепления первичных средств иницирования. Таким образом, масса промежуточного детонатора (чувствительного к первичным средствам иницирования) составляет менее 1 % от массы иницируемого основного заряда промышленного ВВ (не чувствительного к первичным средствам иницирования), что существенно снижает риски и повышает безопасность при изготовлении, хранении, перевозке и применении ВВ.

Теория вопроса

Влияние начального импульса на скорость детонации ВВ отмечалось еще До-тришем для пикриновой кислоты. Как отмечали Андреев К.К. и Беляев А.Ф. [7], аналогичное явление наблюдается в том случае, если ВВ с малой скоростью детонации ини-

цируется мощным промежуточным детонатором, тогда на начальном участке скорость детонации становится выше нормальной, но с расстоянием по заряду ВВ скорость детонации начнет убывать или становится равной скорости детонации в стационарном режиме. Роль начального импульса сводится только к возбуждению взрыва. Это явление давно уже было обнаружено у динамитов, нитроглицерина, а также позже было установлено у жидких нитроэфиров и порошкообразных вторичных ВВ (тротил, тетрил, пикриновая кислота, ТЭН и гексоген), но для них различие в скоростях детонации было не столь велико, как для жидких ВВ [7].

Для эмульсионных ВВ, состоящих из жидкой и сухой фазы, различия в скоростях детонации в зависимости от разной мощности начального импульса могут быть значительными, но они наблюдаются только на начальных участках зарядов в разгонной части, в дальнейшем, при переходе на стационарный режим, скорость детонации будет зависеть только от плотности заряжения, диаметра заряда, равномерной газификации ВВ по всему заряду, а также дисперсности частиц ВВ.

Условия возникновения детонации

Процесс детонации возбуждается ударной волной, с помощью взрыва детонатора или в результате высокоскоростного удара осколка при его попадании в заряд ВВ [8]. Возникающие во взрывчатой системе при ударе и взрыве ударные волны (УВ) создают зону сжатия конечных размеров. В этой зоне сразу за фронтом УВ возникают экзотермические реакции. Для неоднородных (гетерогенных) ВВ наиболее высокая скорость химических реакций имеет место в горячих точках (зоны локального разогрева, порождающие быстрые реакции, получили название «горячих точек» (ГТ). В пористых ВВ и ЭВВ причинами возникновения горячих точек является, главным образом, адиабатическое сжатие газовых включений. Если параметры УВ, возникающие в ВВ, выше критических значений, то в заряде возбуждается детонация. Детонация в заряде ВВ возбуждается при условии, если давление во фронте инициирующей ударной волны (ИУВ) $P_{и}$ или ее массовая скорость $U_{и}$ будут больше критического значения $P_{кр}$ или $U_{кр}$ для данного ВВ:

$$P_{и} \geq U_{и}; \quad (1)$$

$$P_{кр} \geq U_{кр}. \quad (2)$$

При этом согласно теоретическим исследованиям [8, 9] диаметр очага инициирования УВ $d_{и}$ должен быть больше критического диаметра детонации ВВ $d_{кр}$:

$$d_{и} \geq d_{кр}. \quad (3)$$

Экспериментально установлено, что глубина, на которую ИУВ возбуждает детонацию в заряде ВВ, составляет $l_p \approx 2,5d_{кр}$. Величина диаметра $d_{кр}$ учитывает совокупность физических и физико-химических свойств ВВ.

Согласно теоретическим исследованиям [10] область граничных значений $d_{и}$ находится в диапазоне

$$2 d_{кр} \leq d_{и} \leq 3 d_{пр}, \quad (4)$$

где $d_{кр}$ – критический диаметр детонации инициируемого заряда ВВ с минимальной скоростью детонации $D_{кр}$;

$d_{пр}$ – предельный диаметр инициируемого заряда ВВ с максимальной скоростью детонации $D_{пр}$.

В этой области зависимость критических параметров ИУВ ($U_{и}$) от $d_{и}$ сравнительно слабая. Она становится очень сильной при $d_{и} \leq 2 d_{кр}$, а при $d_{и} > 3 d_{пр}$ – почти отсутствует.

При $d_{и} = d_{кр}$ критические параметры ИУВ должны соответствовать химическому пику детонационной волны, распространяющейся по заряду с диаметром, равным критическому.

Если же $d_{и} < d_{кр}$, то для возбуждения детонации необходимо создать пересжатую относительно детонационной УВ.

Согласно исследованиям [10] диаметры заряда ВВ, инициируемого ПД, $d_{кр}$, $d_{и}$, $d_{пр}$ взаимосвязаны со скоростями детонации в них $D_{пр}$, $D_{кр}$, $D_{вв}$ соотношениями вида (5) и (6) без снижения точности расчетов диаметра промежуточного детонатора (ПД) по формуле: скорость детонации ВВ $D_{пр}$ в предельном диаметре заряда $d_{пр}$ может быть приравнена к идеальной скорости детонации, соответствующей условию детонации бесконечно большого диаметра заряда ВВ – $D_{пр} \approx D_{и}$:

$$\frac{d_{пр}}{d_{кр}} = \left(\frac{D_{пр}}{D_{кр}}\right)^2; \quad (5)$$

$$\frac{d_{пр}}{d_{вв}} = \left(\frac{D_{пр}}{D_{вв}}\right)^2. \quad (6)$$

Различие физических свойств ПД и ВВ при преломлении энергии ИУВ на границе раздела в зависимости от детонационных импедансов ПД и ВВ в формуле

$$d_{д} = d_{кр} F_1 \left(1 + 2 \ln \frac{\sqrt[4]{\frac{d_{пр}}{d_{кр}} - 1}}{\sqrt[4]{\frac{d_{пр}}{d_{вв}} - 1}}\right) \quad (7)$$

выражается коэффициентом F_1 , который рассчитывается по формуле

$$F_1 = 0,5 \sqrt{\frac{D_{вв}}{D_{д}} \left(\frac{n_{д}^2 - 1}{n_{вв}^2 - 1}\right) \left(1 + \frac{\rho_{вв} D_{вв}}{\rho_{д} D_{д}}\right)}, \quad (8)$$

где $\rho_{д}$, $\rho_{вв}$ – плотность ПД и ВВ;

$D_{д}$, $D_{вв}$ – скорость детонации ПД и заряда ВВ;

$n_{д}$, $n_{вв}$ – показатели политропы для ПД и ВВ.

Итоговая расчетная формула для определения диаметра промежуточного детонатора $d_{пр}$, обеспечивающего инициирование скважинного заряда ВВ в стационарном режиме, может быть представлена как функция детонационных параметров ПД и ВВ в виде конечного выражения:

$$d_{д} = d_{кр} F_1 \left(1 + 2 \ln \frac{F_2}{F_3}\right), \quad (9)$$

где

$$F_2 = \sqrt[4]{\frac{D_{и}}{D_{кр}} - 3}; \quad (10)$$

$$F_3 = \sqrt[4]{\frac{D_{и}}{D_{вв}} - 3}. \quad (11)$$

Значения показателей политропы $n_{д}$ и $n_{вв}$ принимаются в зависимости от соответствующей плотности ρ_i и идеальной скорости $D_{и}$ ПД и ВВ, соответственно:

$$n_i = \rho_i (7,5 - 0,714 D_{иi}) - 1, \quad (12)$$

где n_i – показатель политропы ПД ($n_{д}$) или ВВ ($n_{вв}$);

ρ_i – плотность ПД ($\rho_{д}$) или ВВ ($\rho_{вв}$), г/см³;

$D_{иi}$ – идеальная скорость детонации ПД или ВВ, км/с.

Параметры ПД (масса $M_{д}$ и длина $l_{д}$) для инициирования скважинных зарядов принимаются исходя из условий соответствия геометрических размеров ПД значениям максимальной активной массы заряда, зависящей от его диаметра $d_{д}$, рассчитанного по выражению:

$$M_d = 1,766\rho_d d_d^3, \text{ кг}; \quad (13)$$

$$l_d = 2,25d_{\text{п}}, \text{ м}. \quad (14)$$

Данное выражение (14) подтверждается экспериментальными данными, полученными сотрудниками ИГД УрО РАН в условиях полигона. В эксперименте использовалось в качестве ПД взрывчатое вещество НПГМ-П-П-М и НПГМ-70, НПГМ-100 в качестве основного заряда. Инициирование производилось от электродетонатора ЭД-8. НПГМ-П-П-М сенсibilизировано стеклянными микросферами ForeSphere. НПГМ-70 и НПГМ-100 сенсibilизировано газогенерирующей добавкой нитрит натрия. Для НПГМ-100 критический диаметр 75 мм, а НПГМ-75 – 90 мм. Диаметр ПД равен диаметру основного заряда (рис. 1).

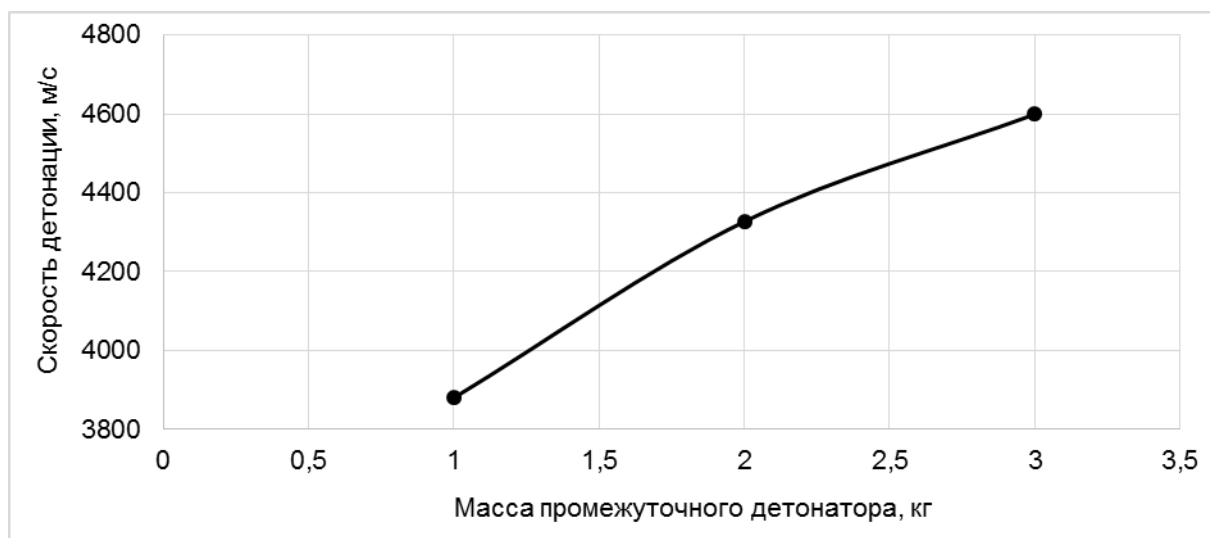


Рис. 1. Зависимость скорости детонации ЭВВ от массы ПД из ЭВВ

Из графика видно, что при массе ПД 3 кг получена наибольшая скорость детонации основного заряда. Это соответствует указанным выше выражениям и обусловлено тем, что длина ПД, равная трем диаметрам заряда, позволила разогнаться детонации в ПД до идеальной скорости и передать детонационный импульс основному заряду ВВ на значениях, близких по ТУ к максимальным для данного типа ВВ. Отсюда следует, что для получения высокого значения скорости детонации в основном заряде эмульсионного ВВ необходимо использовать ПД диаметром, максимально приближенным к диаметру основного заряда и длиной не менее 2,5 диаметров ПД.

Согласно [12] для обеспечения полноты детонации скважинного заряда ЭВВ необходимо согласовывать параметры заряда ЭВВ и ПД, что достигается регулируемым воздействием на характеристики ЭВВ (начальная плотность, структура и рецептура), на конструкцию заряда ЭВВ и на параметры ПД, связанные как с его характеристиками (ВВ, из которого изготовлен ПД, размеры ПД), так и условиями его применения (место установки ПД в заряде ЭВВ, конструкция ПД, установка нескольких ПД (многоточечное и/или встречное инициирование)). В нашем случае мы попытались решить одну из ключевых задач – произвести оценку необходимых физических характеристик ПД из однотипного ЭВВ.

Ниже представлены данные, полученные на основании теоретической расчетной модели, описанной выше. В табл. 1 указаны параметры из ТУ эмульсионных взрывчатых веществ разных производителей и соответствующие им параметры ПД.

Таблица 1

**Параметры промежуточных детонаторов для эмульсионных ВВ
разных производителей**

№ п/п	Параметры заряда ВВ (ГУ)									Параметры заряда ПД						
	Наименование ЭВВ, марка		Плотность ЭВВ, г/см ³	Скорость детонации ВВ, км/с	Критическая скорость детонации, км/с	Идеальная скорость детонации, км/с	Теплота взрыва ВВ ккал/кг	Удельный объем взрывных газов ВВ, л/кг	Критический диаметр ВВ, мм	плотность ПД, г/см ³	Скорость детонации ПД, км/с	Критическая скорость детонации ПД, км/с	Идеальная скорость детонации, км/с	Диаметр ПД, мм	Масса ПД, кг	Длина ПД, м
1	Фортис	Фортис	1	4	4	5,8	798	850	60	1,2	5	4	6	76,35	0,94	0,17
2	НПГМ-П-П	Н	1	5,1	4	5,8	750	1050	60	1,2	5	4	6	92,78	1,69	0,21
3	НПГМ-П-П	К	1	5,4	4	5,8	830	1080	60	1,2	5	4	6	94,89	1,81	0,21
4	НПГМ-П-П	Н	1	5,1	4	5,8	560	1050	60	1,2	5	4	6	92,78	1,69	0,21
5	НПГМ	А-100	1,05	5,4	4	5,8	558	1059	60	1,2	5	4	6	96,64	1,91	0,22
6	Уралит	УТ-70	1,05	5,83	4	5,8	785	1017	60	1,2	5	4	6	99,67	2,10	0,22
7	Оммикс	ОМ-100С	1,1	5	4	5,8	643	900	60	1,2	5	4	6	95,38	1,84	0,21
8	Оммикс	ОМ-30	1,1	4,5	4	5,8	779	986	60	1,2	5	4	6	83,20	1,22	0,19
9	Оммикс	ОМ-30	1,1	4,5	4	5,8	779	986	60	1,2	5	4	6	91,50	1,62	0,21
10	Уралит	УТ-30	1,1	4,44	4	5,8	779	988	60	1,2	5	4	6	91,03	1,60	0,20
11	Уралит	У50	1,15	5,4	4	5,8	844	1009	60	1,2	5	4	6	100,10	2,13	0,23
12	Оммикс	ОМ-100	1,2	4,5	4	5,8	652	900	60	1,2	5	4	6	94,53	1,79	0,21
13	Оммикс	ОМ-100	1,2	5,5	4	5,8	652	900	60	1,2	5	4	6	102,59	2,29	0,23
14	Уралит	УТ-30	1,2	5,1	4	5,8	779	988	60	1,2	5	4	6	99,44	2,08	0,22
15	Уралит	УТ-70	1,2	5,25	4	5,8	785	1017	60	1,2	5	4	6	100,63	2,16	0,23
16	Уралит	У50	1,25	5,4	4	5,8	844	1009	60	1,2	5	4	6	103,51	2,35	0,23
17	НПГМ	А-75	1,25	5,1	4	5,8	689	1015	60	1,2	5	4	6	101,07	2,19	0,23
18	НПГМ	А-30	1,32	4,2	4	5,8	511	988	60	1,2	5	4	6	95,39	1,84	0,21
19	Фортис	Фортис	1,35	5,8	4	5,8	798	1050	60	1,2	5	4	6	111,90	2,97	0,25

Выводы

Применение ЭВВ в качестве средств инициирования и взрывания в карьерах позволит усовершенствовать процесс формирования скважинного заряда и уменьшить риски.

ЭВВ могут эффективно использоваться как для инициирования, так и для основного взрыва, что делает их многофункциональными. Это особенно актуально в условиях карьеров, где требуется высокая адаптивность к различным геологическим условиям. Использование одного типа ВВ для инициирования и подрыва позволяет сократить расходы на закупку и хранение различных видов взрывчатых веществ, что упростит логистику и уменьшит общие расходы на взрывные работы.

ЭВВ, как правило, обладают более высокой устойчивостью к внешним воздействиям, что снижает риск непреднамеренных взрывов. Изменение способа обращения с ВМ при формировании зарядов может положительно отразиться на повышении уровня безопасности при ведении БВР.

Физические характеристики промежуточных детонаторов существенно влияют на параметры детонационного процесса. Оптимизация массы, диаметра и начального импульса ПД является ключевой задачей для повышения эффективности взрывных работ в горнодобывающей промышленности. Необходимы дальнейшие исследования для разработки универсальных моделей, учитывающих взаимосвязь между этими параметрами и характеристиками взрывчатых веществ.

Список литературы

1. Юхансон К., Персон П., 1973. *Детонация взрывчатых веществ*: Пер. с англ. Москва: Мир, 352 с.
2. Кутуев В.А., Меньшиков П.В., Жариков С.Н., 2016. Анализ методов исследования детонационных процессов ВВ. *Проблемы недропользования*, № 3, (10), С. 78-87.
3. Sinitsyn V., Menshikov P., Kutuev V., 2018. Estimation of Influence of Explosive Characteristics of Emulsion Explosives on Shotpile Width, *E3S Web Conf., Volume 56, France, 2018, VII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources"* (PCDG 2018), 01003, P. 5.
4. Колганов Е.В., Соснин В.А., 2007. Безопасность эмульсионных промышленных взрывчатых веществ. *Записки горного института*, Т.171, С.203-212.
5. Kramarczyk B., Pytlik M., Mertuszka P., Jaszcz K., Jarosz T., 2022. Novel Sensitizing Agent Formulation for Bulk Emulsion Explosives with Improved Energetic Parameters. *Materials*, 15(3), 900; P. 1-16.
6. Оника С.Г., Стасевич В.И., Кузьмич А.К., 2020. *Разрушение горных пород взрывом*: пособие для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых». Минск: БНТУ, 113 с.
7. Андреев Л.Ф., Беляев К.К., 1960. *Теория взрывчатых веществ*. Москва: Оборонгиз, 596 с.
8. Баум Ф.А., Орленко Л.П. и др., 1975. *Физика взрыва*. Под ред. К.П. Станюкович. Изд. 2, перераб. Москва: Изд-во «Наука», 704 с.
9. Кантор В.Х., 2022. Оценка работоспособности и определение оптимальных параметров скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ при взрыве в горных породах. *Проблемы недропользования*, № 3 (34). С. 14-26.
10. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И., 1988. *Промышленные взрывчатые вещества*. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Недра, 358 с.
11. Баринов А.В., Раднер С.С., Репринцев В.А., Треушков И.В., Пасечник Ю.В., 2019. *Теория горения и взрыва*: Учебник. Химки: АГЗ МЧС России, 396 с.
12. Горинов С.А., 2020. *Инициирование и детонация эмульсионных взрывчатых веществ*. Под редакцией В.В. Адушкина. Йошкар-Ола: СТРИНГ, 214 с.

References

1. Yukhanson K., Person P., 1973. Detonatsiya vzryvchatykh veshchestv [Detonation of explosive]: Per. s angl. Moscow: Mir, 352 p.
2. Kutuev V.A., Men'shikov P.V., Zharikov S.N., 2016. Analiz metodov issledovaniya detonatsionnykh protsessov VV [Analysis of methods for studying explosive detonation processes]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3, (10), P. 78-87.
3. Sinitsyn V., Menshikov P., Kutuev V., 2018. Estimation of Influence of Explosive Characteristics of Emulsion Explosives on Shotpile Width, E3S Web Conf., Volume 56, France, 2018, VII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources" (PCDG 2018), 01003, P. 5.
4. Kolganov E.V., Sosnin V.A., 2007. Bezopasnost' emul'sionnykh promyshlennykh vzryvchatykh veshchestv [Safety of emulsion industrial explosives]. Zapiski gornogo instituta, Vol.171, P.203-212.
5. Kramarczyk B., Pytlik M., Mertuszka P., Jaszcz K., Jarosz T., 2022. Novel Sensitizing Agent Formulation for Bulk Emulsion Explosives with Improved Energetic Parameters. Materials, 15(3), 900; P. 1-16.
6. Onika S.G., Stasevich V.I., Kuz'mich A.K., 2020. Razrushenie gornykh porod vzryvom: posobie dlya studentov spetsial'nosti 1-51 02 01 "Razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh" [Rock destruction by explosion: a manual for students of specialty 1-51 02 01 "Mining of mineral deposits"]. Minsk: BNTU, 113 p.
7. Andreev L.F., Belyaev K.K., 1960. Teoriya vzryvchatykh veshchestv [Theory of explosives]. Moscow: Oborongiz, 596 p.
8. Baum F.A., Orlenko L.P. i dr., 1975. Fizika vzryva [Physics of explosion]. Pod red. K.P. Stanyukovich. Izd. 2, pererab. Moscow: Izd-vo "Nauka", 704 p.
9. Kantor V.Kh., 2022. Otsenka rabotosposobnosti i opredelenie optimal'nykh parametrov skvazhinnykh zaryadov emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv pri vzryve v gornykh porodakh [Assessment of operability and determination of optimal parameters of borehole charges of emulsion explosives during an explosion in rocks]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3 (34). P. 14-26.
10. Dubnov L.V., Bakharevich N.S., Romanov A.I., 1988. Promyshlennye vzryvchatye veshchestva [Industrial explosives]. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Nedra, 358 p.
11. Barinov A.V., Radner S.S., Reprintsev V.A., Treushkov I.V., Pasechnik Yu.V., 2019. Teoriya gorenii i vzryva [Theory of burning and explosion]: Uchebnik. Khimki: AGZ MChS Rossii, 396 p.
12. Gorinov S.A., 2020. Initsirovanie i detonatsiya emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv [Initiation and detonation of emulsion explosives]. Pod redaktsiei V.V. Adushkina. Ioshkar-Ola: STRING, 214 p.