

**Н.И. Акинин, В.Э. Анников, Д.И. Михеев, Л.И. Соболева,  
А.С. Державец, И.В. Бригадин, С.И. Дорошенко**

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГОРНЫЕ ПОРОДЫ ПОРОХОВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ГЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ**

Приведены особенности рецептур пороховых взрывчатых веществ на гелевой основе, их детонационных характеристик и характеристик безопасности. Рассмотрены способы структурирования гелевой основы. Представлены результаты исследований влияния содержания пороха и рецептуры гелевой основы на детонационную способность. Показано влияние состава гелевой основы на детонационную способность составов, подтверждающее предположения об участии гелевой основы в детонационном процессе. Представлены результаты исследования взрывного воздействия по сравнению со штатными промышленным взрывчатыми веществами. Оценка воздействия проводилась по параметрам воронок, образовавшихся после взрыва заряда в граните и глине. Представлены результаты сравнительных промышленных испытаний скважинных зарядов и накладных зарядов для дробления негабарита. Показана высокая эффективность пороховых взрывчатых веществ на гелевой основе по результатам анализа гранулометрического состава и радиуса разлета дробленой породы, времени заряжания и количества использованного взрывчатого вещества.

*Ключевые слова:* промышленные взрывчатые вещества, просроченные пороха, гелевые взрывчатые вещества, детонация, утилизация, добыча полезных ископаемых, дробление пород.

---

**С** 2011 г. Министерство обороны РФ реализует Федеральную Целевую Программу «Промышленная утилизация вооружения и военной техники на 2011–2015 гг. и на период до 2020 года», по результатам которой в ближайшие годы должен произойти окончательный переход к промышленной утилизации боеприпасов, практически полностью исключаящий уничтожение их сжиганием или подрывом.

Одним из основных компонентов, получаемых при расснаряжении боеприпасов, является пироксилиновый порох (ПП). На начальной стадии утилизации боеприпасов в качестве взрывчатого вещества использовался взрыв-

чатый состав на основе пороха – гранипор (смесь измельченных пироксилиновых и баллиститных порохов с добавкой индустриального масла). Основным недостатком такого состава является повышенная чувствительность к тепловым и механическим воздействиям и низкая эффективность при взрыве.

Устранить эти недостатки позволяет разработанный в РХТУ им. Д.И. Менделеева водосодержащий гелеобразный взрывчатый состав Гельпор [1]. Состав представляет собой композицию зерненного пироксилинового пороха с гелеобразным водным раствором, содержащим аммиачную и натриевую селитры и карбамид (Гель ВИА).

Таблица 1

**Составы на основе геля ВИА**

Вещество	ГП-2'	ГПС-1''	ГП-Т'''	ГП-1''''
Пироксилиновый порошок	48±4	50±1	55±5	65±6
Гель ВИА	33±3	40±1	40±4	36±3
Аммиачная селитра	19±1	10±2	5±3	–
Структурирующие добавки <sup>†</sup>	0,2±0,05	0,2±0,02	1±0,5	0,2±0,05
КБ,%	-10,5	-12,1	-15	-20,9

<sup>†</sup> ТУ 7276-003-02066492-03, <sup>''</sup> ТУ 7276-001-11327508-2012,  
<sup>'''</sup> ТУ 7276-572-05121441-2011, <sup>''''</sup> ТУ 2066498-0899.

Рецептура Гельпоров представлена в табл. 1. Основой всех рецептур Гельпоров, является Гельпор ГП-1, который представляет собой смесь гелеобразного раствора окислителей с порошком. Кислородный баланс этого состава – минус двадцать и девять десятых %. В целях повышения экологичности состава при массовых взрывах на карьерах к этому составу добавляется до 20-ти % аммиачной селитры, что приводит к увеличению кислородного баланса более чем вдвое.

Детонационные характеристики этих составов приведены в табл. 2. Гельпор ГП-1 обладает высокой детонационной способностью – критический диаметр 8–10 мм. При введении в составы аммиачной селитры критический диаметр незначительно повышается. При этом теплота взрыва и скорость детонации практически не меняется.

Стабильность структуры взрывчатого состава Гельпора и формы заряда обеспечивается введением в гелеобразный раствор ионов трехвалентных ме-

таллов – алюминия, железа или хрома, при этом ионы хрома являются наиболее эффективными. Установлено, что для получения резиноподобной структуры, обеспечивающей стабильность формы заряда и высокую водоустойчивость Гельпора, может быть использован только ион трехвалентного хрома, при его концентрации в геле 0,071%. При одномоментном введении ионов хрома в такой концентрации, в виде навески раствора соли, процесс структурирования заканчивается в течение трех-пяти минут, при этом технологически невозможно обеспечить изготовление состава и тем более зарядов на его основе. В связи с этим в РХТУ им. Д.И. Менделеева была разработана методика структурирования путем получения трехвалентного иона в результате химической реакции бихромата калия, содержащего шестивалентный ион хрома, с тиосульфатом натрия, протекающей непосредственно в гелеобразном растворе [2]. В этом случае скорость образования трехвалентно-

Таблица 2

**Сравнительные детонационные характеристики ПВВ**

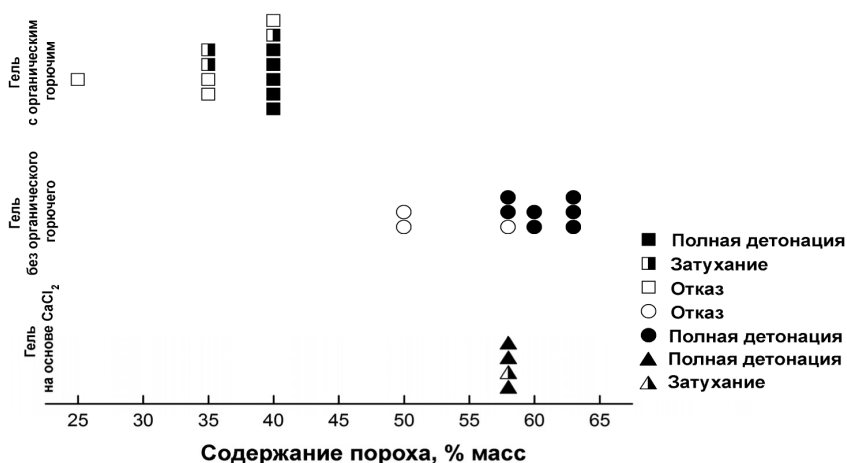
Вещество	Плотность, г/см <sup>3</sup>	D, км/с	Q <sub>взр.</sub> , кДж/кг	Критический диаметр, мм
Гельпор ГП-1	1,4	6,5±0,2	3860	8–10
Гельпор ГП-2	1,4	5,6±0,2	3776	12–14
Гельпор ГПС-1	1,5	5,6±0,2	3580	12–14
Гельпор ГП-Т	1,46	6,4±0,2	3580	12–14

го иона легко регулируется, позволяя изменять время структурирования от пятнадцати минут до 24-х часов. Для получения Гельпора в виде льющейся массы содержания ионов хрома должно быть снижено до 0,0037%. В этом случае для структурирования состава можно использовать соли, содержащие трехвалентные ионы алюминия и хрома –  $Al_2(SO_4)_3$  и  $KCr(SO_4)_2$ .

Безопасность Гельпора обеспечивается негорючестью состава, и, как следствием, отсутствием перехода горения в детонацию и невосприимчивостью к механическим воздействиям, таким как прострел пулей калибра 7,62 из автомата Калашникова. Заряды Гельпора не горят даже при выгорании помещенного внутрь заряда баллиститного пороха. Следует отметить, что сочетание высокой детонационной способности и безопасности позволяет использовать Гельпор при утилизации веществ, обладающей как низкой детонационной способностью (баллиститные пороха, ТРТ), так и веществ с высокой чувствительностью к механическим воздействиям (шашки А-IX-2) [3]. В первом случае Гельпор играет роль инициатора детонации, во втором защитной оболочки.

Структура Гельпора – полидисперсная – крупные зерна пороха окружены гелеобразным раствором. При иницировании состава ударной волной детонация проходит по частичкам пороха. Гелеобразный раствор на начальном этапе в реакции не участвует, а лишь является оболочкой для зерен пороха, обеспечивая их высокую детонационную способность. При достижении определенного давления и температуры в зоне реакции детонационной волны Жуге, энергоемкий гелеобразный раствор начинает реагировать, увеличивая время действия высокого давления в детонационной волне. Следует отметить, что подобный режим детонации характерен только для крупнодисперсных составов, содержащих частицы с высокой детонационной способностью, окруженных энергоемким водным раствором.

Участие гелеобразного раствора окислителя с горючим в реакции в детонационной волне подтверждается опытами, результаты которых приведены на рис. 1. Для оценки роли гелеобразного раствора и влияние его на детонационную способность и характер распространения детонации были проведены опыты гелеобразного раство-



**Рис. 1. Влияние содержания органического горючего в гелеобразном растворе окислителей на детонационную способность пороховых составов**

Таблица 3

**Сравнительная оценка параметров местного действия**

Тип ВВ	Масса заряда, кг	Вид грунта	Параметры воронок		
			$r_v$ , м	$h_v$ , м	$V_v$ , м <sup>3</sup>
Гельпор ГП-2	40	гранит	1,0	0,35	0,55
Граммонит 79/21	40	гранит	0,9	0,25	0,31
Гельпор ГП-2ДП	2	глина	0,56	0,22'	0,10
Гельпор ГП-2ДП	2	глина	0,56	0,30	0,14
Аммонит бЖВ	2	глина	0,37	0,32	0,068

ра, содержащего  $\text{CaCl}_2$ , для создания необходимой плотности, гелеобразного раствора содержащий только окислитель и гелеобразного раствора содержащий в том числе и горючее.

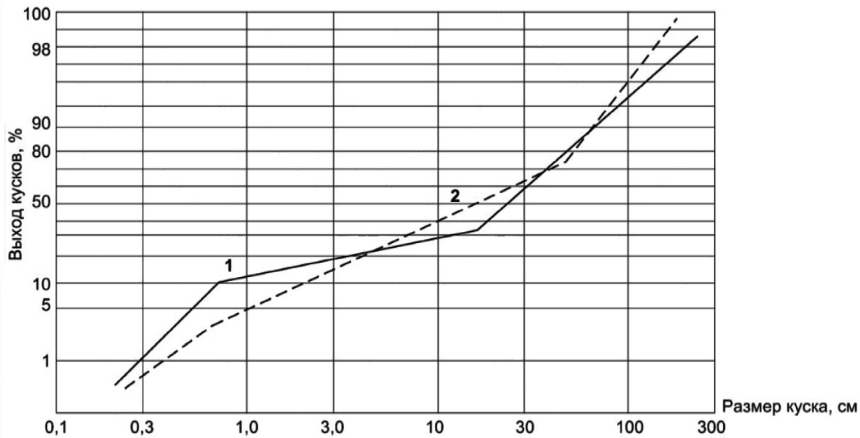
Установлено, что раствор с  $\text{CaCl}_2$  обеспечивает детонацию с выше диаметра 20 мм с минимальном содержании пороха 58%, при введении окислителя детонационная способность увеличивается, минимальное содержание пороха составляет 50–55%, добавление горючего существенно повышает детонационную способность, а минимальное содержание пороха равно 30–35%.

Эффективность взрывного действия Гельпора оценивалась по параметрам воронок, образовавшихся после взрыва заряда [4], в сравнении со штатными ПВВ. В качестве параметров сравнения были взяты: радиус воронки ( $r_v$ ), глубине ( $h_v$ ) и объему воронки ( $v_v$ ). Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Испытания для Гельпора ГП-2, в сравнении с Граммонитом 79/21 проводились на граните, масса заряда составляла 40 кг. Установлено, что при взрыве Гельпора диаметры воронок практически одинаковые, а глубина и, соответственно, объем воронок для Гельпора почти в два раза больше, чем для Граммонита. Проведены так же испытания зарядов ГП-2ДП в сравнение с зарядом аммонита бЖВ, массой 2 кг на глине. Указанные выше особенности механизма протекания процесса

детонации в заряде Гельпора, обеспечивает особый механизм распространения ударной волны в грунте. По сравнению с традиционными ВВ при взрыве Гельпора, изменение давления носит немонотонный характер и позволяет условно выделить зону усиления, зону ослабления и зону физического изменения параметров детонационных и ударных волн. В зоне усиления наблюдается повышенное бризантное действие взрыва. По увеличенной глубине воронки и уменьшенному до двух раз расходу ВВ, при разделе негабарита, можно утверждать, что усиление параметров наблюдается уже в зоне заряда. В частности, максимально кажущиеся давления в детонационной волне, может быть в полтора-два раза выше расчетного. Если работоспособность Гельпора рассчитывать по методу Траусля, то параметры воронок от его взрыва были бы меньше, чем при взрывах традиционных ВВ, в действительности же в этой зоне наблюдается увеличение параметра воронок до полутора-двух раз, исходя из чего можно предположить, что фаза усиления – до  $p = 4 \text{ м/кг}^{1/3}$ . В зоне ослабления наблюдается резкое уменьшение максимального давления и длительность фазы сжатия до расстояний  $p = 10 \text{ м/кг}^{1/3}$ . Импульс давления на пределе этой зоны может быть меньше расчетного до четырех раз.

Влияние изложенных выше механизма детонации Гельпоров и распро-



**Рис. 2. Гранулометрический состав горной массы после взрыва:** 1 – скважинные заряды с использованием традиционных ПВВ; 2 – скважинные заряды с использованием гелевых ПВВ

странения ударных волн при взрыве этого состава в грунте особенно проявилось при использовании Гельпора в скважинных зарядах. Произведен массовый взрыв девяноста скважинных зарядов, при глубине скважин в среднем 15 м, по сетке 6,5 на 6,5. Двадцать две скважины были заряжены зарядами Гельпора ГП-2У, остальные Гранипором ФМ. Скважины, практически все, обводнены более чем на половину или 2/3 глубины. Результат взрыва показал, что в части блока, заряженный Гельпором, высота навала взорванной породы превысила в 30–40% высоту навала породы в зоне, заряженной Гранипором ФМ. Оценка степени дробления определялась планиметрическим методом. При этом выход фракции меньше 3–5 см в части, взорванной Гельпором, практически не наблюдался, в отличие от Гранипора.

Результаты по трем фракциям представлены на рис. 2. Выход негабарита составил, с применением Гранипора – 13,6%, а Гельпора ГП-2У – 5,7%, то есть уменьшился в 2,4 раза. Проведены измерения по разлету камней взорванной породы – разлет для Гранипора 250–300 м, а для Гельпора до 150 м.

Аналогичные результаты по выходу негабарита из степени дробления были получены при уменьшении диаметра скважин до 160 мм, что позволяет существенно снизить себестоимость работ.

При разделке негабарита использовались накладные заряды Гельпора прямоугольной формы, толщиной 25–30 мм, массой 1 кг в полиэтиленовой оболочке.

Резиноподобная структура и плоская форма зарядов Гельпора позволя-



**Рис. 3. Заряды накладные «ЗГНП» на основе взрывчатого состава Гельпор**

ет перегибать заряд под углом до 45–50°, без изменения толщины заряда, при этом заряд хорошо прилегает ко всем неровностям негабарита, обеспечивая хороший контакт с породой. Так же структура заряда позволяет быстро и надежно снарядить заряд электродетонатором. Особенности протекания детонационного процесса при взрыве Гельпора и распространению ударных волн в породе, позволили увеличить эффективность взрывных работ при разделке негабарита в 2,5 раза по сравнению с аммонитом бЖВ. Гельпор обладает меньшей бризантностью, поэтому нет переизмельчения негабарита, отсутствует пережег на поверхности. Взрыв заряда Гельпора приводит к раскрытию новых трещин и образованию более крупных фрагментов породы. Практически отсутствует разлет породы, до 70% породы остается в зоне действия заряда. Проведено хронометрирование этапов взрывоподготовки – размещение на 30–50-ти блоках негабарита заряда из аммонита и установка детонаторов проводилась за 2–2,5 часа, при использовании плоских зарядов Гельпора время подготовки с учетом их уменьшенного в 2 раза количества, сократилось до 20–30 минут, то есть в 4 раза. Высокая водоустой-

чивость состава Гельпора позволяет использовать заряды при проведении подводных работ. Установлено, что при этом сохраняется высокая эффективность и удельный расход вещества.

Высокая эффективность Гельпора и особенности распространения ударной волны в воздухе, в воде и грунте, позволяет успешно использовать заряды Гельпора в стесненных условиях: для проведения подводных взрывных работ вблизи гидросооружений и подводных конструкций, дноуглубительных работ, для ликвидации чрезвычайных ситуаций вблизи жилых и промышленных зданий, при проходке траншей, рытье котлованов, строительстве земляного полотна дорог, разборке фундамента оборудования и стен, проходке траншей вертикальных и наклонных скважин и шпуров [5]. В вертикальных и наклонных скважинах и шпурах целесообразнее использовать льющиеся марки Гельпора. Именно такой способ был использован при проходке второй нитки Североевропейского газопровода. Установлено, что эффективность действия Гельпора при проходке траншеи в скальных породах превышает эффективность водоэмульсионного ярита и порошкообразного аммонита в 2,5–4 раза [6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анников В.Э., Кондриков Б.Н., Козак Г.Д., Смагин Н.П., Тищенко А.А., Белин В.А., Олейников В.А. Патент РФ № 2000132485, 26.12.2000. Водосодержащий пороховой взрывчатый состав // Патент РФ № 218329. 2000.

2. Анников В.Э., Кондриков Б.Н., Олейников В.А. Патент РФ № 2003135278, 05.12.2003. Способ изготовления зарядов гелеобразного водосодержащего взрывчатого состава // Патент РФ № 2253642. 2003.

3. Анников В.Э., Олейников В.А., Скорняков А.В., Фирсов А.В. Патент РФ № 2003119026, 27.06.2003. Способ утилизации взрывчатых материалов // Патент РФ № 2232739. 2003.

4. Дорошенко С.И., Михайлов Н.П. и др. Эффективность применения ПВМ на ге-

левой основе в инженерном деле / Пятая международная научная конференция «Физические проблемы разрушения горных пород» // Записки Горного института, т. 171, 2007. – СПб.: СПГИ (ТУ). – С. 150–152.

5. Дорошенко С.И. др. Некоторые особенности параметров подводных взрывов ПВМ на гелевой основе / Сборник трудов четвертой международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород». – М.: ИПКОН РАН, 2005. – С. 394–397.

6. Белин В.А., Смагин Н.П., Дорошенко С.И. Экспериментальные исследования характеристик ПВМ на гелевой основе. Взрывное дело: Сборник научных трудов // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 8. – 2007. – С. 143–148. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

Акинин Николай Иванович<sup>1</sup> – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: akinin@muctr.ru,

Анников Владимир Эдуардович<sup>1</sup> – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: nbtp@bk.ru,

Михеев Денис Иголеви<sup>1</sup> – ассистент, e-mail: mikheevmd@mail.ru,

Соболева Любовь Ивановна<sup>1</sup> – студент, e-mail: lyubov.soboleva.92@mail.ru,

Державец Аврам Семенович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор, ЗАО «Взрывиспытания», e-mail: zaovir@rambler.ru,

Бригадин Иван Владимирович<sup>2</sup> – кандидат технических наук, научный консультант, e-mail: mail@promstroyvzryv.ru,

Дорошенко Станислав Иванович<sup>2</sup> – кандидат технических наук, научный консультант, e-mail: mail@promstroyvzryv.ru,

<sup>1</sup> РХТУ им. Д.И. Менделеева,

<sup>2</sup> ООО «Промстройвзрыв».

---

UDC 662.241

## ABOUT FEATURES OF DETONATION AND IMPACT ON ROCK BY POWDER WATER GEL EXPLOSIVES

Akinin N.I.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: akinin@muctr.ru,

Annikov V.E.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, e-mail: nbtp@bk.ru,

Mikheev D.I.<sup>1</sup>, Assistant, e-mail: mikheevmd@mail.ru,

Soboleva L.I.<sup>1</sup>, Student, e-mail: lyubov.soboleva.92@mail.ru,

Derzhavets A.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director,

CJSC «Vzryvispytaniya», 115487, Moscow, Russia, e-mail: zaovir@rambler.ru,

Brigadin I.V.<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences, Scientific Consultant, e-mail: mail@promstroyvzryv.ru,

Doroshenko S.I.<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences, Scientific Consultant, e-mail: mail@promstroyvzryv.ru,

<sup>1</sup> D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR), 125480, Moscow, Russia,

<sup>2</sup> Promstroyvzryv Ltd., 190031, Saint-Petersburg, Russia.

---

*The paper presents the detonation characteristics of explosives on water gel base containing expired propellant grains, its knock characteristics and safety features. The methods of structuring of water gel base were considered. The influence of the content of propellant grains and water gel formulation to detonation ability were presented. The influence of water gel composition on detonation abilities was revealed, that confirming the assumption of participation water gel base in the detonation process. The paper presents the results of investigation of the explosive impact in comparison with the standard of industrial explosives. The evaluation was conducted in the parameters of craters formed after the explosion of the charge in the granite and clay. The results of comparative industrial tests of blasthole charges and overhead charges for fragmentation of oversized rocks also are presented. The conclusion of high efficiency of water gel explosives containing expired propellant grains were based on the analysis of particle size distribution and range expansion of crushed rock, time of explosive charging and the amount of used explosives.*

*Key words: industrial explosives, expired propellant, water gel explosives, slurry explosives, detonation performance, reuse, mining, rock fragmentation.*

## REFERENCES

1. Annikov V.E., Kondrikov B.N., Kozak G., Smagin N.P., Tishchenko A.A., Belin V.A., Oleynikov V.A. Patent RU 2183209 C1, 26.12.2000.

2. Annikov V.E., Kondrikov B.N., Oleynikov V.A. Patent RU 2253642 C1, 05.12.2003

3. Annikov V.E., Oleynikov V.A., Skornyakov A.V., Firsov A.V. Patent RU 2232739 C1. 27.06.2003.

4. Doroshenko S.I., Mikhaylov N.P. Pyataya mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Fizicheskie problemy razrusheniya gornykh porod». *Zapiski Gornogo instituta*, t. 171 (Fifth International Scientific Conference «Physical Problems of rock destruction». Notes of the Mining Institute, vol. 171), Saint-Petersburg, SPGGI (TU), 2007, pp. 150–152.

5. Doroshenko S.I. *Sbornik trudov chetvertoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Fizicheskie problemy razrusheniya gornykh porod»* (Proceedings of the fourth international conference «Physical problems of destruction of rocks»), Moscow, IPKON RAN, 2005, pp. 394–397.

6. Belin V.A., Smagin N.P., Doroshenko S.I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 8. 2007, pp. 143–148.