

*На правах рукописи*

**ДОРОШЕНКО Станислав Иванович**

**РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД  
ГЕЛЕВЫМИ ВВ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ НА ОСНОВЕ УТИЛИ-  
ЗИРУЕМЫХ БОЕПРИПАСОВ**

**Специальность 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение гор-  
ных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Москва 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф. Устинова «ВОЕНМЕХ»

Кафедра «Средства поражения и боеприпасы»

**Научный руководитель:** **МИХАЙЛОВ Николай Павлович**  
доктор технических наук, профессор  
БГТУ им. Д.Ф. Устинова «ВОЕНМЕХ»

**Официальные оппоненты:** **ДЕРЖАВЕЦ Аврам Семенович**  
доктор технических наук, профессор  
генеральный директор  
ЗАО «Взрывиспытания»

**ПУПКОВ Владимир Васильевич**  
кандидат технических наук,  
генеральный директор  
ООО «Промтехвзрыв»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт динамики геосфер РАН

Защита диссертации состоится «23» апреля 2014 г. в 10<sup>30</sup> час.  
на заседании диссертационного совета Д.002.074.02 при Институте  
проблем комплексного освоения недр Российской академии наук по  
адресу: 111020, Е-20, Москва, Крюковский тупик, 4;  
тел./факс 8-495-360-89-60

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПКОН РАН и на сайте [www.ipkonran.ru](http://www.ipkonran.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук

Милетенко И.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Взрывное разрушение различных материалов (горные породы, лед и т.д.) и конструкций (сооружений) на современном этапе развития науки предполагает решение целой гаммы противоречивых проблем, основными из которых являются повышение эффективности воздействия в требуемой зоне и щадящее воздействие на окружающую среду. Особо важное значение эта проблема приобретает при выполнении взрывных работ в стесненных условиях.

Такой подход требует разработки новых типов взрывчатых веществ (ВВ) с заданными характеристиками, подтверждаемыми комплексом экспериментальных исследований.

При этом наряду с взрывчатыми характеристиками, к новым типам ВВ предъявляются также требования по безопасности и экологичности.

Параллельно с этой проблемой в нашей стране остро стоит вопрос ликвидации и утилизации накопленных запасов обычных боеприпасов. Простое уничтожение извлекаемых из боеприпасов ВВ неприемлемо по экологическим и экономическим соображениям. Повторное использование порохов и ВВ уже в составе новых взрывчатых материалов позволит комплексно решать обе проблемы.

Одним из эффективных в технологическом и экономическом аспектах направлений, является использование гелевых промышленных ВВ (ПВВ) на основе пироксилиновых порохов, извлекаемых из утилизируемых боеприпасов.

Несложная технология, достаточная сырьевая база и низкая стоимость компонентов позволяют быстро организовать изготовление ПВВ на гелевой основе. Вместе с тем необходимо отметить, что такие ПВВ пока не нашли широкого применения в промышленности. Такое положение обусловлено, в основном, недостаточной изученностью их взрывчатых характеристик и, соответственно, рекламируемостью.

На основании изложенных выше проблем, можно утверждать, что изучение особенностей взрывного воздействия ПВВ на гелевой основе и их адаптация для различных направлений применения, представляет актуальную задачу и имеет значительный научный и практический интерес.

Решение этой задачи состоит в экспериментальном изучении и теоретическом обобщении основных характеристик гелевых ПВВ и разработки эффективных способов и устройств взрывания, базирующихся на основе особенностей динамики их взрывчатого превращения.

Эффективность применения гелевых ПВВ определяется не только степенью полезного использования энергии заряда, но и возможностью управления механизмом взрывного разрушения материалов и конструкций. Для этого необходимо тщательное и подробное изучение физических закономерностей взрывного нагружения, эффективность которого достигается за счет согласования интенсивности нагружения с физико-механическими свойствами разрушаемых материалов, с одной стороны, и заметным ослаблением напряжений в среде в зоне негативного воздействия.

В этой связи проблема повышения эффективности взрывных работ в сочетании с повышением уровня безопасности приобретает особую актуальность.

**Цель работы:** повышение эффективности и безопасности технологии взрывного разрушения горных пород на основе применения гелевых промышленных взрывчатых веществ.

**Научная идея** заключается в использовании изменяющихся свойств промышленных взрывчатых веществ на гелевой основе для повышения эффективности взрывного разрушения горных пород.

**Задачи исследования:**

1. Развитие технологии утилизации боеприпасов на основе гексогенсодержащих ВВ.
2. Совершенствование гелевых ПВВ на водной основе и экспериментальное определение их взрывчатых и эксплуатационных характеристик.
3. Экспериментальное изучение разрушения горных пород и материалов взрывами зарядов ПВВ на гелевой основе.
4. Разработка физических и математических моделей процессов взрывного разрушения пород с применением гелевых ПВВ.
5. Разработка методических основ применения гелевых ПВВ в горной промышленности и при ведении специальных взрывных работ в стесненных условиях.

**Защищаемые научные положения:**

1. Смещение метательных взрывчатых веществ (пироксилиновых порохов) с органическим кислородсодержащим гелем изменяет характер взрывчатого превращения и переводит в режим детонации с сохранением достаточной чувствительности к первичному импульсу без пыления при зарядании, что позволяет применять этот состав для технологии дробления горных пород.

2. Характер изменения относительной работоспособности зарядов на основе гелевых ВВ во времени и пространстве определяется не только параметрами самих гелевых ВВ, но и свойствами разрушаемых массивов и условиями нагружения.

3. Рациональное сочетание детонационных, взрывных и эксплуатационных характеристик гелевых ВВ на основе утилизируемых боеприпасов обеспечивает существенное повышение эффективности и показателей взрывного разрушения горных пород, в том числе в стесненных условиях.

#### **Научная новизна:**

1. Установлена закономерность изменения относительной работоспособности гелевых ВВ, которая в отличие от типовых ВВ носит нелинейный характер и которая определяется параметрами самих гелевых ВВ и свойствами среды.

2. Дано теоретическое обоснование технологии повышения эффективности взрывных работ в горном производстве при использовании водосодержащих гелевых ВВ.

#### **Практическая значимость работы заключается:**

- в разработке способа утилизации боеприпасов, снаряженных гексогеносодержащими ВВ;

- в разработке рекомендаций по проведению взрывных работ с одновременным повышением уровня безопасности;

- в установлении показателей основных взрывчатых характеристик и параметров безопасности гелевых ПВВ;

- в разработке конструкций патронированных и скважинных комбинированных зарядов;

- в разработке способа и устройства снаряжения шнура гелевыми ПВВ.

**Достоверность результатов** обосновывается большим объемом проанализированной и обобщенной информации по отечественным и зарубежным исследованиям взрывного воздействия взрывчатых веществ на горные породы и материалы, использованием современных моделей механического действия взрыва и современной измерительно-регистрающей аппаратуры, достаточной сходимостью результатов лабораторных, полигонных и промышленных экспериментов и использованием гелевых ПВВ.

**Методы исследований.** Обзор и анализ исследований, проведенных отечественными и зарубежными учеными в области взрывных работ, комплексное использование теоретических и экспериментальных методов в лабораторных, полигонных и производственных усло-

виях, сравнительный анализ результатов исследований с натуральными данными, применение нониусного метода сравнения параметров механического действия взрывов зарядов гелевых и эталонных ПВВ.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы докладывались на четвертой и пятой международных научных конференциях «Физические проблемы разрушения горных пород» в 2004 и 2006 годах, на VI и VII международных научно-технических конференциях «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» в 2005 и 2007 годах, на научном симпозиуме «Неделя горняка» в 2007, 2009, 2011 и 2013 годах, на заседаниях кафедры «Средства поражения и боеприпасы» БГТУ «ВОЕНМЕХ».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 научных трудов (в т.ч. 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России), а также получено 5 патентов на изобретения и полезные модели.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав и заключения, изложенных на 124 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 18 таблиц, список литературы из 118 наименований, приложение.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Преимущества взрывной технологии дробления горной массы в процессе её отделения от массива оказались настолько очевидными, что она широко применяется во всех горнодобывающих странах мира, непрерывно растет и область применения энергии взрыва для получения полезной работы в других отраслях промышленности, науки и техники. Это стимулирует развитие фундаментальных и прикладных исследований по изучению свойств самих ВВ, механизму и полноте их взрывчатого превращения, механизму действия взрыва на различные среды и оптимизации полезных форм работы взрыва с учетом свойств среды и технологии ведения взрывных работ.

Основы физических процессов разрушения горных пород взрывом и закономерности изменений параметров волн напряжений изложены в работах академиков АН СССР и РАН Адушкина В.В., Мельникова Н.В., Садовского М.А., Трубецкого К.Н., Шемякина Е.И., член-корреспондента АН СССР Замышляева Б.В., доктора технических наук, профессора Родионова В.Н. В дальнейшем они развиты в трудах докторов наук и профессоров Белина В.А., Викторова С.Д., Евтерева Л.С., Закалинского В.М., Кутузова Б.Н., Казакова Н.Н., Крюкова Г.М., Кочаряна Г.Г., Спивака А.А. Численные методы исследований явились результатом трудов докторов технических наук Архипова В.Н., Будкова А.М.

Наиболее значимый вклад в разработку технологии утилизации внесли Авсеенко И.М., Мацевич Б.В., Варёных Н.М., Кореньков В.В., Щукин Ю.Г. и др. Исследования целого спектра задач по применению ПВВ на основе продуктов утилизации проводились под руководством и непосредственным участием Викторова С.Д., Державца А.С., Феодоритова М.И., Франтова А.Е.

Основная проблема использования энергии ВВ в промышленности состоит в повышении безопасности и эффективности взрывных технологий добычи полезных ископаемых и снижении их вредного экологического воздействия на окружающую среду. Сложность решения этой проблемы заключается в необходимости с одной стороны исключить полностью или резко снизить риск возникновения случайных взрывов при обороте ВВ и их взрывоопасных компонентов, а с другой – надежно прогнозировать эффект целенаправленных взрывов в конкретных условиях карьеров и специальных работ.

С расширением области применения энергии взрыва возникли проблемы разработки ВВ с заранее заданными свойствами. Наиболее остро эта проблема стоит при работе в стесненных условиях, когда, с одной стороны, необходима высокая работоспособность, а с другой, - минимальное воздействие на окружающую среду.

Аналогичные проблемы имеют место при работах в чрезвычайных ситуациях: разрушении ледяных заторов, разрушении аварийных конструкций, разборе завалов и т.п.

Стремление разработчиков изготовить ВВ с параметрами, оптимально удовлетворяющими этим условиям, привели к созданию ряда новых промышленных взрывчатых материалов, значительная доля которых разработана с использованием взрывчатых компонентов утилизируемых боеприпасов.

Из всего многообразия ПВВ, изготовленных по конверсионным технологиям, особый интерес представляют гелпоры ГП и промежуточные детонаторы гексогенсодержащие водонаполненные (ПДГВ).

Основные результаты работы отражены в следующих защищаемых положениях.

**1. Смещение метательных взрывчатых веществ (пироксилиновых порохов) с органическим кислородсодержащим гелем изменяет характер взрывчатого превращения и переводит в режим детонации с сохранением достаточной чувствительности к первичному импульсу без пыления при зарядании, что позволяет применять этот состав для технологии дробления горных пород.**

Гельпоры - это водосодержащие ВВ, представляющие собой композицию зерновых или трубчатых артиллерийских пироксилиновых порохов и гелеобразного раствора окислителей.

ПДГВ представляют собой механическую смесь геляпора (до 70% по массе) и шашек гексогеносодержащих составов типа А-ХІ-2.

Для оценки взрывчатых свойств, характеризующих эффективность ПВВ на гелевой основе, были проведены экспериментальные исследования параметров детонации и работоспособности. Сравнительная эффективность эталонных и гелевых ПВВ представлена в табл.1.

Таблица 1 - Значения показателей эффективности ВВ

Показатель	Тротил	Гельпоры		Аммонит 6 ЖВ
		ГП-2Д	ГП-2У	
$\Delta h$ , мм	16	30	26	14
$\alpha = \Delta h/h_k$	0,36	1,0	0,76	0,31
$\alpha/\alpha_{\text{ТНТ}}$	1,0	2,7	2,1	0,7

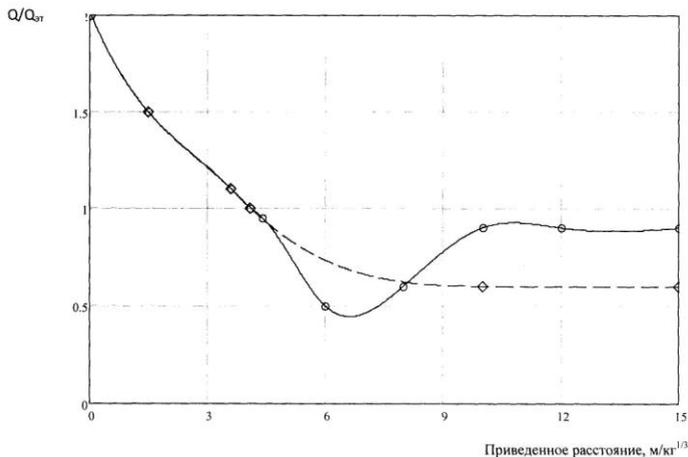
Для оценки чувствительности и опасности ПВВ в обращении проводились испытания зарядов ВВ на воздействие пожаров, электростатическую безопасность, а также на воздействие пуль стрелкового оружия. Сравнительная характеристика эталонных и гелевых ПВВ по параметрам безопасности представлена в табл.2.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики безопасности

Характеристика	ТНТ	6 ЖВ	ГП-Т	ГП-2У	ГП-2ДП
Чувствительность к импульсу	ЭД, ДШ	ЭД, ДШ	ЭД	ДШ	ЭД, ДШ
Чувствительность к удару, %	20-24	16-32	0	0	0
Температура вспышки, С°	300	330	175	175	175
Переход горения в детонацию	нет	нет	нет	нет	нет
Электростатичность	есть	есть	нет	нет	нет
Прострел пульей, м	25	25	25	25	25
Пыление	средн.	высок.	нет	нет	нет
Токсичность	высок.	высок.	нет	нет	нет
Водоустойчивость	высок.	средн.	высок.	высок.	высок.

**2. Характер изменения относительной работоспособности зарядов на основе гелевых ВВ во времени и пространстве определяется не только параметрами самих гелевых ВВ, но и свойствами разрушаемых массивов и условиями нагружения.**

На основе совместного анализа результатов измерений параметров местного действия, воздушной ударной волны (ВУВ), подводной ударной волны (ПУВ) и результатов разделки негабарита получены зависимости изменения относительной работоспособности геляпора с расстоянием (рис. 1).



**Рис.1** – Характер изменения относительной работоспособности геляпора с расстоянием в воде и воздухе:  $\circ$  – ПУВ ;  $\diamond$  – ВУВ

Зависимость относительной работоспособности геляпора в воздухе и грунте описывается системой уравнений (1), (2).

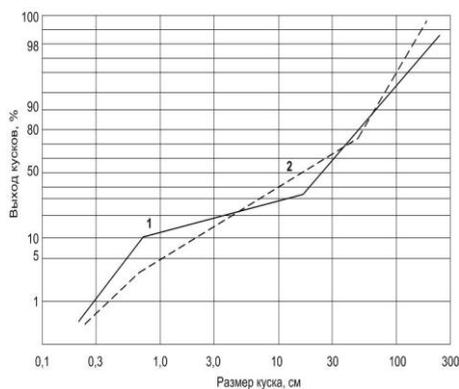
$$Q/Q_{0г} \begin{cases} 1 + (4 - R^2) / 4 & \text{при } R \leq 4 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 1 - (R - 4) / 15 & \text{при } 4 < R < 10 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,6 & \text{при } R \geq 10 \text{ м/кг}^{1/3}; \end{cases} \quad (1)$$

в воде

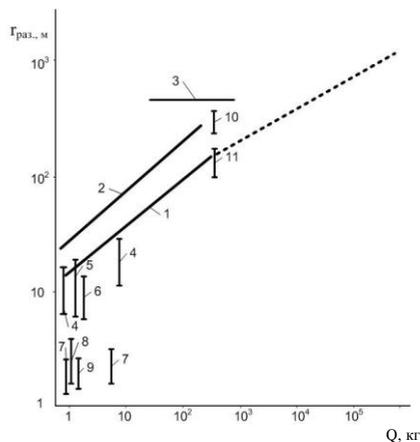
$$Q/Q_{0г} \begin{cases} 1 + (4 - R^2) / 4 & \text{при } R \leq 4 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,067R^2 - 0,94R + 3,65 & \text{при } 4 < R < 10 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,9 & \text{при } R \geq 10 \text{ м/кг}^{1/3}. \end{cases} \quad (2)$$

Специфические особенности взрывов зарядов гелевых ПВВ отражаются и на гранулометрическом составе взорванной породы. На ри-

сунке 2 представлен грансостав горной массы после взрыва традиционных и гелевых ПВВ в одинаковых условиях.



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



**Рис. 3** - Сравнительные результаты по разлету осколков и камней: 1 - накладной заряд (Vortman L.J., SANDIA., 1967); 2 - накладной (контактный заряд); 3 - расчет по «Единым правилам...» для условий карьера; 4 - грунт, аммонит; 5 - металл, ТНТ; 6 - бетон, ТНТ; 7 - грунт геляпор; 8 - металл, геляпор; 9 - бетон, геляпор; 10 - гранит, массовый гранипор; 11 - гранит, массовый, геляпор

Из графика следует, что фракционный состав в обоих случаях подчиняется трехмодальному распределению и при этом при взрыве гелевых ПВВ заметно ниже доля переизмельченной фракции (менее 0,5 см) и негабарита (более 70 см), а доля кондиционной фракции – выше.

В целом характер разлета осколков породы и материалов при взрывах типовых и гелевых ПВВ представлен на рис. 3.

**3. Рациональное сочетание детонационных, взрывных и эксплуатационных характеристик гелевых ВВ на основе утилизируемых боеприпасов обеспечивает существенное повышение эффективности и показателей взрывного разрушения горных пород, в том числе в стесненных условиях.**

В общем случае параметры детонационной волны определяются энергией химического превращения продуктов взрыва, давлением на фронте детонационной волны и рядом других факторов, определяющими из которых являются удельная энергия взрыва  $Q_n$  и давление детонации  $P_\delta$ . Выделенная при взрыве энергия  $E_o$  в зависимости от детонационных параметров  $P_\delta$ ,  $Q_n$  и свойств породы, расходуется на различные физические процессы: диссипацию энергии в ближней зоне взрыва, переизмельчение среды, разрушение среды и создание механических возмущений вне зоны разрушения.

Чем выше параметры детонационной волны, тем больше напряжения на стенке взрывной камеры и тем больше энергия диссипации, расходуемая на переизмельчение.

Скорость продуктов детонации  $u_\delta$  связана со скоростью детонации  $D$  соотношением:  $u_\delta = D/(\gamma + 1)$ , а величина  $\gamma$  определяется из зависимости

$$Q_n = P_\delta / \rho_o (\gamma + 1), \text{ т.е. } \gamma = (P_\delta / \rho_o Q_n) - 1.$$

Процесс передачи энергии происходит следующим образом. После окончания детонации продуктами взрыва уносится энергия  $Q_n$ . Если ВВ содержит воду, то часть энергии  $Q_n$  затрачивается на испарение и, возможно, на диссоциацию. Энергия испарения воды составляет  $2,5 \cdot 10^3$  кДж/кг, т.е. для ГП-2 – 250 кДж/кг (10% воды).

Для ГП-2  $Q_n = 3790$  кДж/кг, следовательно, доля энергии идущая на испарение составляет  $\sim 7\%$ .

Для оценки давления детонации показатель адиабаты получают из формул

$$P_\delta = \rho_o D^2 / (\gamma + 1),$$

$$Q_n = P_\delta / \rho_o (\gamma + 1).$$

Тогда для ГП-2У получим  $\gamma = 2,09$ , а для ГП-2ДП  $\gamma = 2,5$ .

Кроме испарения, часть энергии взрыва расходуется на диссоциацию. Для диссоциации  $H_2O \leftrightarrow \frac{1}{2} O_2$ , необходимо затратить энергию  $E_{дис} = 1,33 \cdot 10^4$  кДж/кг, что для ГП-2, содержащем в своем составе 10% воды составит  $E_{дис} = 1,33 \cdot 10^3$  кДж/кг.

Таким образом, на испарение и диссоциацию воды расходуется  $E_\Sigma = 1,58 \cdot 10^3$  кДж/кг, т.е.  $\sim 40\%$  от энергии взрыва зарядов ГП.

Эффективный радиус заряда при этом снижается. Но сначала испарившаяся вода создает дополнительное давление на окружающую среду. Затем она конденсируется и снижает энергию продуктов взрыва.

Для описания физических процессов разрушения гранитного блока рассмотрен взрыв полусферического заряда на поверхности однородного скального массива. Для проведения расчетов использовалась двумерная вычислительная программа, разработанная на основе ла-

гранжева численного метода "Тензор". Уравнения, описывающие движение и напряженное состояние твердого деформируемого материала в осесимметричном случае, имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dt} + \rho \operatorname{div} \mathbf{u} &= 0, \quad u_r = \frac{dr}{dt}, \quad u_z = \frac{dz}{dt}, \\ \rho \frac{du_r}{dt} - \frac{\partial s_{rr}}{\partial r} - \frac{\partial s_{rz}}{\partial z} - \frac{2s_{rr} + s_{zz}}{r} + \frac{\partial P}{\partial r} &= 0, \\ \rho \frac{du_z}{dt} - \frac{\partial s_{zz}}{\partial z} - \frac{\partial s_{rz}}{\partial r} - \frac{s_{rz}}{r} + \frac{\partial P}{\partial z} &= g, \\ \rho \frac{d\varepsilon}{dt} - s_{rr}\dot{\varepsilon}_{rr} - s_{zz}\dot{\varepsilon}_{zz} - s_{\theta\theta}\dot{\varepsilon}_{\theta\theta} - 2s_{rz}\dot{\varepsilon}_{rz} - \frac{P}{\rho} \frac{d\rho}{dt} &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $t$  – время;  $r, z, \theta$  – цилиндрические координаты ( $z$  – ось симметрии);  $\rho$  – плотность;  $u_r, u_z$  – компоненты вектора скорости  $\mathbf{u}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения;  $P$  – давление;  $s_{ij}$  – девиатор тензора напряжений;  $\dot{\varepsilon}_{ij}$  – девиатор тензора скоростей деформаций;  $\varepsilon$  – удельная внутренняя энергия;  $d/dt$  – лагранжева производная по времени:

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + (\mathbf{u}, \nabla) f.$$

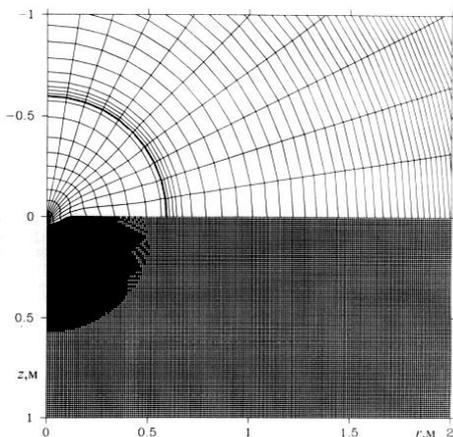
Система уравнений замыкается соотношениями, определяющими связь между напряжениями и деформациями материала. Конкретный вид этих соотношений зависит от используемых моделей деформирования грунтовых сред. Поведение скальной породы в массиве описывалось с помощью обобщенной квазиупругопластической (ОКУП) модели. ОКУП модель является одной из наиболее полных моделей деформирования скальной породы, используемых при численном моделировании воздействия взрыва на грунт. В этой модели учитывается релаксация сдвиговых напряжений при разрушении, эффекты дилатансии в зоне сдвигового (сколового) разрушения и релаксационный механизм деформирования скальных пород за пределами этой зоны (квазиупругое деформирование).

Расчеты проведены для трещиноватой скальной породы с плотностью  $\rho_0 = 2,3 \text{ г/см}^3$ , скоростью продольных волн  $a_0 = 3400 \text{ м/с}$ . Константы ОКУП модели выбрали на основании этих данных с помощью корреляционных соотношений между физико-механическими характеристиками грунтовых сред.

Для описания продуктов детонации тротила в расчетах использовалось уравнение состояния. Данное уравнение состояния представлено в удобной для проведения численных расчетов аналитической

форме и в настоящее время широко используется при теоретических исследованиях взрывных процессов в грунте и воздухе.

Общую картину развития взрыва иллюстрирует рис.4, на котором показан фрагмент расчетной сетки в грунте, продуктах детонации и воздухе в момент времени  $t = 0,2$  мс. Маркерами на рис. 5 отмечены ячейки, в которых в процессе деформирования уровень нагрузок превысил предел прочности скальной породы на сдвиг, то есть произошло разрушение скальной породы.



**Рис. 4** – Фрагмент расчетной сетки в момент времени  $t = 0,2$ мс (взрыв тротила массой 1 кг)

Характерные эпюры смещения, скорости движения скальной породы, диагональных компонент тензора напряжений и давления на различной глубине под центром взрыва мощностью 1 кг показаны на рис. 5. На рис. 6 сопоставлены зависимости максимальной скорости движения скальной породы под центром взрыва от глубины, полученные в результате численного моделирования взрывов накладных зарядов различной мощности. На этом же рисунке отдельно показана зависимость, полученная на основе уравнения (1), для взрыва заряда геляпора массой 1 кг. Из рисунка видно, что на расстоянии менее 4 м действие взрыва заряда геляпора более эффективно, чем тротила, а на расстоянии более 10 м, т.е. в зоне безопасности, - до 2-х раз слабее.

При наличии уравнений состояния для продуктов детонации гелевых ПВВ предложенная модель позволяет рассчитывать полные эпюры для давления, скоростей и деформаций, а при их отсутствии – можно провести оценочный расчёт с использованием зависимости, представленной на рисунке 6.

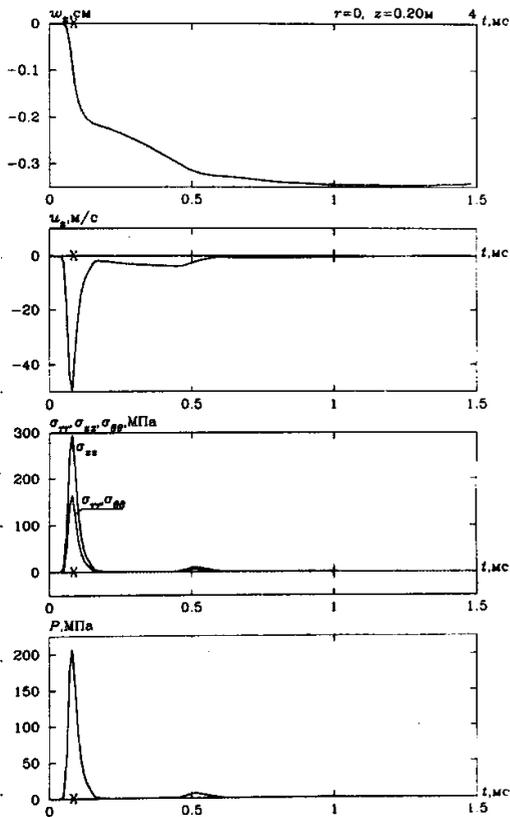


Рис. 5 - Типовые эюры

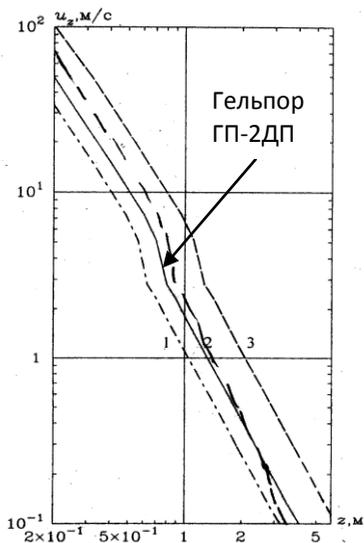


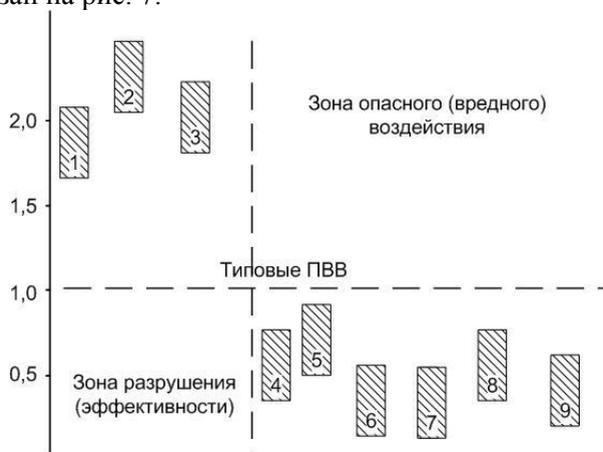
Рис. 6 – Зависимость амплитуды скорости под центром взрыва: 1 – 0,5 кг, 2 – 1кг, 3 – 4кг

Значительный объем занимают специальные взрывные работы – работы, выполняемые по индивидуальным проектам производства работ.

К специальным взрывным работам в настоящее время относятся взрывные работы, выполняемые при проходке траншей, рытье котлованов, вертикальной планировке, строительстве земляного полотна дорог, разборке фундаментов оборудования, сносе отслуживших свой срок строений и сооружений, дымовых и вентиляционных труб, си-

лосных башен, отдельных элементов зданий и стен. К ним же относятся и подводные взрывные работы, взрывы на выброс и сброс при строительстве плотин и т.п. Эти работы – одно из важнейших звеньев в общем комплексе строительных и других работ. Выполняются они и при предотвращении и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Необходимо отметить, что большинство из этих работ проводятся в стесненных условиях – рядом с промышленными сооружениями, вблизи функционирующих цехов, работающих механизмов и установок. На строительных объектах в условиях городской застройки специальные взрывные работы осуществляют, как правило, в зоне нахождения многочисленных строений и сооружений, подземных и наружных коммуникаций.

Сравнительный характер воздействия взрывов зарядов типовых и гелевых ПВВ в зонах разрушения и негативного экологического действия показан на рис. 7.



**Рис. 7** - Сравнительное воздействие взрывов зарядов гелевых и типовых ПВВ: 1 - разрушение негабарита; 2 - местное действие под водой; 3 - местное действие; 4 – ВУВ; 5 - ΔРф, ГУВ; 6 - импульс ВУВ; 7 - разлет осколков (металл, бетон); 8 - разлет грунта (массовый взрыв); 9 - пылевая фракция

Опыт выполнения взрывных работ по дроблению скальных пород и разрушению строительных конструкций показывает, что, имея целый ряд преимуществ, взрывной способ характеризуется и отдельными недостатками: воздействием сейсмических и ударных волн взрывов на охраняемые объекты, гидроударных волн подводных взрывов на ихтиофауну; разлётом кусков взорванных грунтов и конструкций. Учет этих обстоятельств особенно важен при взрывных работах вбли-

зи гражданских и производственных зданий, рядом с действующими объектами, оборудованием, механизмами и коммуникациями.

При взрывном дроблении фундаментов, перебивании конструкций, обрушении сооружений, проходке траншей под коммуникации и т.п. необходимо принимать специальные меры к недопущению повреждения различных объектов, находящихся вблизи места взрыва, разлетающимися кусками бетона, кирпича или скального грунта.

Дальность разлета кусков раздробленного материала при взрыве определяется многими факторами. К числу основных факторов, определяющих дальность разлета отдельных кусков породы при взрыве скважинных зарядов, следует отнести:

- параметры единичного заряда.
- взаимное расположение одновременно взрывааемых зарядов.
- физико-механические свойства массива.
- топографию земной поверхности.
- скорость и направление ветра.

Заряды из геляпора с учетом их специфики при взрывных работах в стесненных условиях рекомендуется изменять в нескольких вариантах: самостоятельно или в комбинации с другими типами ПВВ.

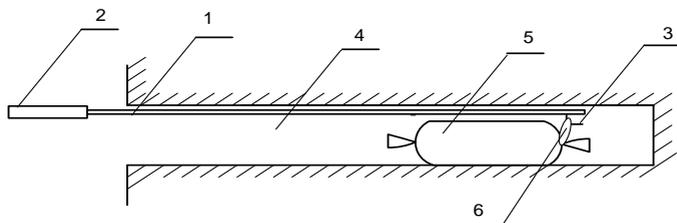
При проходке траншей геляпором целесообразно снаряжать ближайший к охраняемому объекту ряд скважин. В этом случае при сниженном сейсмическом действии одновременно создается экран для дальних рядов. Над этим рядом скважин можно также уменьшить толщину песочного экрана, предотвращающего разлет кусков породы.

Как один из вариантов, такая схема предложена при проходке траншеи для прокладки второй нитки северо-европейского газопровода на территории Ленинградской области.

В случае демонтажа фундаментов по известным способам можно шуры со стороны охраняемых объектов снаряжать геляпором.

Как правило, зарядание вертикальных и наклонных шпуров осуществляют жидкими, порошкообразными, гранулированными и патронированными ВВ, а горизонтальных – только патронированными. При зарядании горизонтальных шпуров патронированными ВВ, патроны в шпур вводят по одному и проталкивают пробойником. В связи с появлением новых гелеобразных промышленных ВВ, возникла необходимость в доработке описанной выше технологии зарядания горизонтальных шпуров применительно к данным зарядам. Проблема заключается в том, что заряды геляпора, изготавливающиеся в виде унитарных патронов в полиэтиленовой оболочке, эластичны и протолкнуть их пробойником в шпур невозможно. Под воздействием пробойника они расширяются и заклинивают в шпуре. Для зарядания

горизонтальных шпуров удлиненными зарядами гелеобразных ВВ в полиэтиленовой оболочке разработаны способ и конструкция для его реализации. Суть предлагаемого способа заключается в подаче унитарного патрона с гелеобразным ВВ в шпур и протаскивании его вглубь шпура с помощью предлагаемого устройства, представленного на рис. 8. При протаскивании патронированного заряда усилие прилагается к его передней части, что не приводит к его изгибу и исключает заклинивание в шпуре.



**Рис. 8** – Схема зарядки шпура: 1 – штанга; 2 – рукоятка; 3- вилка; 4 - забой шпура; 5 - унитарный патрон; 6 - петля

Устройство состоит из штанги 1, на одном конце которой выполнена рукоятка 2, а на другом – вилка 3. При выполнении зарядки унитарный патрон 5 с помощью петли 6 в его передней части, зацепляется вилкой 3 и протаскивается в забой шпура 4 до упора. Таким же образом в шпур подается каждый последующий заряд. Во избежание образования пустот внутри шпура при зарядании, после подачи каждого заряда он уплотняется пробойником.

В горном деле в качестве самостоятельных задач, определяемых физической природой разрушений можно выделить следующие: массовые взрывы в целом; скважинные комбинированные заряды при массовых взрывах; шпуровые заряды при подземных взрывах. Для этих задач предполагаются схемы и конструкции зарядов на основе гелевых ПВВ.

С учетом особенностей взрывного воздействия геляпора проведен расчет массового взрыва для условного блока в сравнении с ЭВВ или граммонитом, который указывает на существенное (~ в 1,6 раза) удешевление буровзрывных работ при использовании геляпора по сравнению с традиционными ПВВ.

Основным источником выхода негабарита является зона забойки, которая в свою очередь состоит из приповерхностного слоя, раздробленного предшествующими взрывами при отработке вышерасположенного уступа, и нижнего структурно неизменённого слоя, дающего основную долю негабарита.

Вместе с тем, при ведении взрывных работ на карьерах наряду с качеством дробления горных пород существенное значение имеет качество проработки подошвы уступа. Для усиления действия взрыва заряда на уровне подошвы уступа, скважины бурят с перебором. Как показывает практика, наряду с выбором оптимальных параметров БВР существенное влияние на эффективность дробления породы оказывает конструкция заряда и характеристики используемого ВВ.

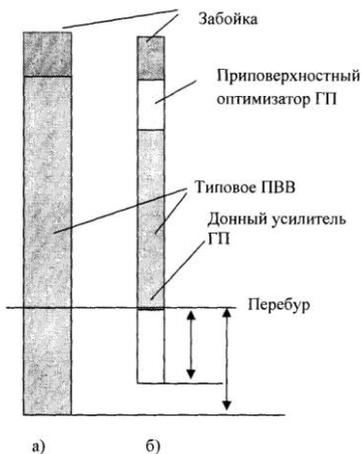
В условиях дефицита утилизируемых пироксилиновых порохов для повышения эффективности дробления породы, а именно: уменьшения выхода негабарита из приповерхностного слоя массива и улучшения качества проработки подошвы уступа, целесообразно использовать гелевое ПВВ в составе комбинированного заряда.

На основе гелевого ПВВ разработана конструкция скважинного заряда с оптимальным сочетанием экономических показателей и эффективности взрывного воздействия. Конструкция заряда предполагает размещение в перебуре и в верхней части скважины геляпора ГП-2, а в средней части скважины любого другого ВВ, выбор которого определяется условиями водонаполненности скважины, типом пород, их обводненностью и технологическими требованиями к горной массе по интенсивности дробления.

Размещаемый в перебуре геляпор в виду его высокой объемной концентрации энергии способствует хорошей проработке подошвы уступа. Кроме того, геляпор обладает сравнительно высокой плотностью, поэтому для разрушения породы его требуется гораздо меньше, чем, если бы использовались традиционные ВВ.

Конструкция предлагаемого скважинного заряда представлена на рисунке 9. Использование таких зарядов позволяет расширить сетку скважин или уменьшить диаметр этих скважин и величину перебура. Использование гелевых ПВВ в качестве донного усилителя позволяет уменьшить вероятность образования порогов у подошвы уступа по сравнению с традиционной технологией, а приповерхностный оптимизатор – уменьшить выход негабарита из приповерхностной части массива.

Сравнительные экономические показатели буровзрывных работ при проведении массового взрыва с использованием скважинных зарядов различной конструкции представлены в табл. 3 и 4. Использование комбинированных зарядов позволяет почти в 2 раза уменьшить количество основного ПВВ (эмульсия).



**Рис. 9** – Конструкции скважинных зарядов:

а – традиционная конструкция;  
б – предлагаемая конструкция

**Таблица 3** – Результаты сравнительных расчетов массового взрыва с использованием скважинных зарядов из эмульсии, геляпора, комбинированного заряда и их экономические показатели

Наименование параметра	Значение параметра		
	граммонит (эмульсия)	гельпор	эмульсия /гельпор
Объем разрушаемого блока, м <sup>3</sup>	15000	15000	15000
Диаметр скважин, мм	170	170	170
Расчетный удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	0,783	0,5	0,783/0,5
Плотность ВВ, кг/м <sup>3</sup>	1100	1450	1100/1450
Масса ВВ, т	11,8	7,5	6,0/1,5
Размер сетки скважин, м	5,0×5,0	8,0×8,0	5,5×5,5
Перебур, м	2,0	2,0	0,8
Глубина скважины, м	12,0	12,0	10,8
Количество скважин в блоке, шт.	48	30	42
Общая погонная длина скважин, м	576	360	454
Стоимость 1 кг ВВ, руб.	30(18)	45	30/45
Стоимость прох. 1 п.м. скважины, руб.	415	415	415
Общая стоимость ВВ, тыс. руб.	354,0(216)	337,5	180/67,5
Стоимость буровых работ, тыс. руб.	239,0	149,5	190,0
Общая стоимость БВР, тыс. руб.	593,0(455)	487,0	437,5

Анализ таблицы 4 указывает на существенную экономическую выгоду применения эмульсионных ПВВ по сравнению с типовыми (гранипор,граммонит, гранулотол и др.). В то же время применение геляпора при цене 45 руб/кг оказывается не менее выгодным, чем применение эмульсионных ПВВ по цене 18 руб./кг. Экономическая выгода применения гелевых ПВВ обусловлена особенностью их взрывного воздействия.

Таблица 4 – Сравнительные экономические показатели

Показатели	Тип ВВ			
	гранипор	граммонит	эмульсионное ВВ	гельпор ГП-2
Удельный расход бурения, п.м./м <sup>3</sup> / стоимость, руб	0,065/27	0,063/26	0,065/27	0,035/15
Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup> /стоимость, руб	1,1/20	0,9/27	1,1/20	0,6/27
Затраты на взрывные работы, руб	20	20	0	8
Объем (проценты) и стоимость разделки негабарита, руб.	10/2	10/2	10/2	3/1
Переизмельчение породы (проценты) и экологический ущерб, руб	5/4	5/4	5/4	2/2
Итоговые затраты на БВР, руб/м <sup>3</sup>	73	79	53	53

Для скважинных зарядов ВВ, наиболее часто используемых при дроблении массивов горных пород, основными параметрами, воздействующими на разлет горной массы при взрыве, являются диаметр заряда, длина забойки и общая масса заряда.

Большое количество и широкий диапазон изменения перечисленных выше определяющих параметров существенно осложняют определение степени их влияния на максимальную дальность разлёта кусков взорванной породы.

Из этого следует, что заряды на основе гелевых ПВВ можно также рекомендовать для ведения взрывных работ в стесненных условиях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершённой научно-исследовательской работой, изложено решение задачи по повышению эффективности буровзрывных работ при одновременном снижении уровня опасности с применением зарядов гелевых ВВ на основе утилизируемых боеприпасов.

По результатам проведенных исследований применительно к горной промышленности сформулированы следующие выводы:

1. На основании экспериментальных полигонных и лабораторных измерений установлены взрывчатые и эксплуатационные характеристики гелевых ВВ, которые существенно превосходят аналогичные характеристики типовых ВВ, применяемых в горном деле.

2. Установлены закономерности изменения параметров механического действия взрывов зарядов гелевых ПВВ в воздухе, воде и горных породах. На основе нониусного метода исследованы особенности взрывного воздействия гелевых ПВВ в сравнении с типовыми и эталонными ПВВ, позволяющие повысить эффективность буровзрывных и специальных взрывных работ.

3. Обоснованы на феноменологическом уровне особенности детонации и процессов взрывного воздействия гелевых ПВВ.

4. Впервые разработана модель взрывного воздействия зарядов гелевого ПВВ для наиболее сложного случая разделки негабарита, проведен численный расчет и предположен алгоритм прогнозирования для типовых горных работ.

5. Обоснована конструкция комбинированного скважинного и шпурового зарядов, состоящих из различных типов ПВВ, в том числе гелевых, и обеспечивающих повышенный уровень безопасности в сочетании с требуемой технологической и экономической эффективностью.

6. Разработан способ утилизации боеприпаса на основе гексогенсодержащих ВВ. Утилизация по разработанному способу позволяет извлечь до 30% ВВ для повторного использования, снизить уровень вредного воздействия на окружающую среду и свести к нулю расход энергоносителей.

7. Разработаны рекомендации по использованию гелевых ПВВ при проведении специальных взрывных работ.

8. Разработаны и усовершенствованы смесевые промышленные ВВ на гелевой основе, включающие пироксилиновый порошок из утилизируемых боеприпасов и позволяющие снизить уровень вредного воздействия на окружающую среду.

9. Показана эффективность применения зарядов гелевых ПВВ при проведении взрывных работ в стесненных условиях горного производства с уменьшенными размерами зон опасного воздействия, в том числе по разлету осколков, воздушной и гидроударной волнам.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Дорошенко С.И., Михайлов Н.П. и др. Эффективность применения ПВМ на гелевой основе в инженерном деле. //Пятая международная научная конференция «Физические проблемы разрушения горных пород». Записки Горного института. Т.171, 2007. – С-Пб.: СПГИ (ТУ), с.150-152, (по списку ВАК).

2. Белин В.А., Смагин Н.П., Дорошенко С.И. Экспериментальные исследования характеристик ПВМ на гелевой основе. Взрывное дело:

Сборник научных трудов/ Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня № 8. М.: Издательство «МИР ГОРНОЙ КНИГИ», 2007, с.143-148.(по списку ВАК)

3. Дорошенко С.И., Михайлов Н.П. и др. Патент на изобретение РФ № 2282137. Способ утилизации боеприпаса.

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

5. Дорошенко С.И. др. Некоторые эффекты старения ПВМ на гелевой основе. Сборник докладов VI-й международной НТК «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов», М., ИД «Оружие и технологии», 2005, с.309 - 311.

6. Белин В.А., Дорошенко С.И. и др. Физические основы, технологические схемы и экономические показатели применения гелевых ПВВ // Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: Сборник докладов. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2007, с. 216-220.

7. Дорошенко С.И., Белин В.А., Михайлов Н.П., Будков А.М. и др. Сравнительные расчеты сейсмического действия взрывов зарядов ТНТ и гелевых ПВВ. // Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: Сборник докладов. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2007, с. 268-272.

8. Дорошенко С.И., Белин В.А., Менжулин М.Г. Физические процессы формирования волновых возмущений при взрыве водосодержащих гелевых ПВВ. // Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: Сборник докладов. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2007, с. 272-274.

9. Дорошенко С.И., Белин В.А. и др. Скважинный заряд взрывчатого вещества. Патент РФ на полезную модель № 75028. БИПМ №20, 2008.

10.Дорошенко С.И., Белин В.А. и др. Способ и устройство заряжания горизонтального шпура. Патент РФ №2403534, БИПМ №31, 2010.

11.Дорошенко С.И. Модель энерговыделения при взрыве ПВМ на гелевой основе // Пятая международная научная конференция «Физические проблемы разрушения горных пород». Записки Горного института. Т.180. С-Пб.: СПГИ (ГУ) 2009, с.125-129, (по списку ВАК).

12. Дорошенко С.И., Белин В.А. и др. Скважинный заряд взрывчатого вещества. Патент РФ на полезную модель № 116220 БИМП №14, 2012.

13. Дорошенко С.И. и др. Заряд взрывчатого вещества на гелевой основе. Патент РФ на полезную модель № 113347 опубликовано 10.02.2012.