

БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

На правах рукописи

ДОРОШЕНКО Станислав Иванович

**РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
ГЕЛЕВЫМИ ВВ , ИЗГОТОВЛЕННЫМИ НА ОСНОВЕ
УТИЛИЗИРУЕМЫХ БОЕПРИПАСОВ**

Специальность 25.00.20

«Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и
горная теплофизика»

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Михайлов Николай Павлович

Санкт-Петербург 2014 г.

Содержание

Введение	4
1 Аналитический обзор	6
1.1 Современные проблемы взрывного разрушения горных пород	6
1.2 Анализ состояния работ по утилизации обычных видов боеприпасов	10
1.3 Основные направления развития промышленных взрывчатых веществ с использованием конверсионных взрывчатых материалов	14
1.4 Анализ экспериментальных методов оценки относительной работоспособности ПВВ	20
1.5 Постановка цели и задачи исследований	23
2 Экспериментальные исследования характеристик гелевых ПВВ	28
2.1 Утилизация боеприпасов, снаряженных гексогеносодержащими ВВ	28
2.2 Исследование характеристик гелевых ПВВ, изготовленных из взрывчатых компонентов утилизируемых боеприпасов	31
2.2.1 Совершенствование ПВВ на гелевой основе	32
2.2.2 Определение основных взрывчатых характеристик	34
2.2.3 Испытания на безопасность	36
2.3 Исследования параметров взрывов зарядов гелевых ПВВ в различных средах	41
2.3.1 Сравнительные испытания геляпора в воздухе	42
2.3.2 Сравнительные испытания гелевых ПВВ в воде	48
2.3.3 Сравнительная оценка параметров местного действия	55
2.3.4 Дробление негабарита и разрушение горных пород	61

2.3.5	Фрагментация конструкций инженерных сооружений	69
2.4	Выводы	74
3	Модель энерговыделения ПВВ на гелевой основе и результаты численных расчетов	76
3.1	Феноменологическая модель энерговыделения	76
3.2	Физическая и математическая модель взрывного превращения водосодержащего ВВ	80
3.3	Численное моделирование и результаты расчетов	83
3.4	Выводы	94
4	Методические основы применения зарядов ПВВ на гелевой основе	96
4.1	Взрывные работы в стесненных условиях, чрезвычайных ситуациях и под водой	98
4.2	Скважинный комбинированный заряд	101
4.3	Снаряжение шпуров при проходке подземных выработок	108
4.4	Оценка экономической эффективности	113
4.5	Выводы	114
	Заключение	115
	Список использованных источников	117
	Приложения	125

Введение

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.

1. Аналитический обзор

1.1 Современные проблемы взрывного разрушения горных пород

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., [1,48,49,87,89, 92,97,114,115]. 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., [3,10-15,25-27,30,48,53,54,58,62,63,65]. Численные методы исследований явились результатом трудов докторов технических наук Архипова В.Н., Будкова А.М. [5]

В этих работах на основе анализа результатов экспериментальных и теоретических исследований предложены приближенные и достаточно простые решения, позволяющие эффективно оценивать моменты

формирования начала процессов разрушения горных пород под действием квазистатических полей напряжений. Показано, что волны напряжений, генерируемые в породах и вызывающие их разрушение, определяются действием детонационной волны, распространяющейся по заряду.

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 состоит 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.

Длительное время проблема использования энергии взрыва в промышленности решалась на базе исследований мощных молекулярных и смесевых ВВ в основном военного назначения. Были созданы научно-технические и правовые основы оборота промышленных ВВ, разработан широкий ассортимент взрывчатых составов с использованием тротила и технологий ведения взрывных работ с помощью этих составов. Однако, в 60-70 годах прошлого века в развитых странах мира, в том числе и в СССР, начались кардинальные изменения в сфере оборота ВВ промышленного назначения. Суть их состоит в замене дорогостоящих и опасных в обращении тротилсодержащих ВВ заводского изготовления на низкочувствительные гранулированные, водосодержащие, эмульсионные и суспензионные смеси типа окислитель-горючее на основе аммиачной селитры [8,9,17,21,26,27,46,47,52,64,68,86,87,95,97,100-110,112,116-118]. Данные ВВ в настоящее время используются на подземных и открытых разработках, однако их более широкое применение сдерживается отсутствием стандартных сертифицированных методов оценки их характеристик [20,68]. На данный момент разработка новых рецептур ВВ опережает разработку методов их испытаний. Вследствие этого промышленные ВВ нового

поколения часто применяются без достаточной проверки их взрывчатых свойств. Комплекс взрывчатых свойств любого ВВ включает показатели, характеризующие безопасность и энергетические свойства. Недостаточная полнота исследований показателей безопасности на практике приводит к росту числа аварий и техногенных катастроф [95]. Основанные на энергетическом критерии и опыте использования гомогенных и мелкодисперсных ПВВ заводского изготовления схемы расчета параметров буровзрывных работ не учитывают в должной мере особенности взрывных процессов в ПВВ нового поколения. Все это снижает реальную эффективность их использования, повышает опасность взрывных работ и их вредного экологического воздействия на окружающую среду [12,56].

Таким образом, прогнозирование случайных взрывов и их предотвращение, предсказание механического и экологического действия взрыва на окружающую среду для эффективного целенаправленного использования невозможно без детальных исследований самих взрывных процессов. По существу, решение проблемы состоит в установлении связи между характеристиками исходного ВВ и заряда, характеристиками возникающих в них взрывных процессов и результатом воздействия на окружающую среду и прямо связано с развитием теории ВВ и механического действия взрыва.

С расширением области применения энергии взрыва, особую актуальность приобретает проблема 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.

Для примера, такая проблема стояла при проходке второго наклонного тоннеля станции метро «Маяковская» Московского метрополитена, при демонтаже гостиницы «Орленок» (Москва) и при разрушении промышленных объектов и зданий в населённых пунктах. В первом случае недопустимо было повышенное сейсмическое воздействие на соседний

тоннель, во втором – необходимо было ограничить разлет осколков и действие воздушной ударной волны.

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

Целенаправленное изменение исходных характеристик ВВ и заряда является одним из главных способов регулирования его взрывчатыми свойствами и параметрами возможных взрывных процессов. Такими характеристиками являются химический состав и строение молекул ВВ, агрегатное состояние и плотность заряда, дисперсность и количество гранул отдельных компонентов, геометрические размеры и конструкция заряда. К числу важнейших исходных характеристик ВВ и заряда следует отнести его потенциальную химическую энергию, условия и полнота выделения которой, собственно, и определяют во многом вероятность возникновения взрывного процесса, его параметры и результат действия взрыва. Связь параметров взрывного процесса с результатом действия взрыва, наиболее наглядно проявляется в проблеме повышения КПД взрыва с заданным качеством дробления горных пород различной крепости. При оценке эффективности взрыва на дробление следует исходить из существования определенного предела энергоемкости качественного дробления, зависящего от механических свойств горных пород и развиваемых в процессе их дробления деформаций. Последние же определяются параметрами детонационных волн в зарядах ВВ и параметрами генерируемых ими ударных волн и волн напряжений в массиве [18,19,44,48,54,89,99,114,115].

Обозначенная выше проблема целенаправленного изменения исходных характеристик ВВ и заряда как одного из главных способов регулирования его взрывоопасными свойствами и параметрами возможных взрывных процессов, в настоящее время решается, главным образом, путем создания новых ПВВ.

К взрывчатым веществам, используемым в горной промышленности и инженерном деле, предъявляются следующие взаимоисключающие требования [10,44,45,95,100,105]:

- безопасность в обращении и достаточно высокая чувствительность к инициирующему импульсу;
- повышенная работоспособность и небольшие безопасные расстояния (по сейсмическому воздействию, разлёту осколков и воздушной ударной волне);
- высокая плотность и энергия и технологичность как при производстве (изготовлении), так и при применении.

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

1.2. Анализ состояния работ по утилизации обычных видов боеприпасов

В связи с сокращением Вооруженных Сил в Российской Федерации возникла объективная необходимость в утилизации устаревших и сверхнормативных объемов боеприпасов, находящихся на арсеналах и базах хранения. Общее количество бризантных ВВ, содержащихся в них, оценивается примерно в 100 тыс.т. [21,68,86,95]. Безусловно, эта величина несопоставима с ежегодным потреблением промышленных ВВ в России (~1,0 млн.т.). Однако если учитывать потенциальную техногенную опасность, а также абсолютную материальную ценность химического сырья, то введение их в хозяйственный оборот является важной экологической и экономической задачей.

Начало работ по утилизации боеприпасов было положено принятием ряда законодательных актов и постановлений Правительства РФ [47,86], в

которых были определены основные направления работ по утилизации боеприпасов, боевых частей ракет и ракетных двигателей на твердом топливе.

Первая Федеральная программа по утилизации вооружения и военной техники (В и ВТ) на период 1994-2000 гг., в том числе обычных видов боеприпасов, была утверждена в 1994 г. С этого времени официально начинаются практические работы по утилизации боеприпасов и вышел первый Государственный оборонный заказ по утилизации В и ВТ.

В соответствии с этими документами, рядом отраслевых институтов, предприятиями промышленности и Министерством обороны РФ были проведены широкие исследования по разработке различных вариантов утилизации образцов вооружения и военной техники.

За годы, прошедшие с момента утверждения первой Федеральной программы по утилизации вооружений, накоплен определенный опыт практических работ по расснаряжению боеприпасов и переработке продуктов утилизации в продукцию гражданского назначения [68].

В реализации ФЦП «Промышленная утилизация ВиВТ», в том числе боеприпасов, принимают участие предприятия Управления промышленности боеприпасов и спецхимии (ФГУП «БХЗ», ФГУП «КНИИМ», ГНПП «Сплав», ФГУП «НИИХП» и др.), арсеналы и базы Минобороны России (28 арсеналов ГРАУ, 4 арсенала ВМФ) и коммерческие предприятия (различные ООО, ОАО, ЗАО), а так же ВУЗы (МГГУ и БГТУ «Военмех»), учреждения РАН (ИПКОН РАН).

Наиболее значимый вклад в разработку технологии утилизации внесли Авсеенко И.М., Мацеевич Б.В., Варёных Н.М., Кореньков В.В., Щукин Ю.Г. [55,68,112,116-118] 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. [26-27,101-110] и др.

В настоящее время в России и за рубежом используются следующие основные способы расснаряжения обычных боеприпасов [21,68,95,116-118]:

1. Контактная, «влажная» выплавка взрывчатого вещества (ВВ) водой или паром. Осуществляется подачей теплоносителя в корпус боеприпаса при температуре выше температуры плавления тротила. Основной недостаток при всей простоте способа – отсутствие экологической чистоты. Необходимо восстанавливать значительные количества оборотной воды. Существует опасность взрыва при извлечении составов, содержащих алюминиевые порошки (выделение водорода при контакте с водой). Конечная продукция требует доводки до потребительской кондиции вследствие ее влажности, отсутствует утилизация тепла и др.

2. Неконтактные «сухие» методы выплавки. Корпус нагревают паром, горячей водой, токами высокой частоты или сверхвысокочастотным излучением до температуры плавления тротила. Основные недостатки: малая производительность, практическая невозможность извлечения ВВ из изделий сложной конфигурации и значительных габаритов, несанкционированные разогревы при длительном воздействии температуры на ВВ.

3. Вымывание струей воды высокого давления. Основные недостатки: необходимость очистки значительного количества оборотной воды, возможно взаимодействие воды с алюминиевыми порошками, что приводит к резкому сокращению сроков хранения и эксплуатации, сложность дальнейшей переработки извлеченного ВВ, значительная энергонагрузка.

4. Гидро-, взрыво- и ультразвуковая резка корпусов боеприпасов вместе с ВВ. Основные недостатки: опасность проведения самого процесса резки и возможность загрязнения ВВ сенсibilизаторами в процессе разделки; необходимость значительных территорий, расхода средств инициирования; значительные затраты на дальнейшую переработку выделенных фрагментов химического сырья.

5. Извлечение ВВ из корпусов боеприпасов подачей расплава парафина на заряд ВВ. Основные недостатки: использование значительного количества

привносимого теплоносителя, необходимость его удаления из ВВ с последующим циклическим уничтожением, флегматизация извлеченного тротила вплоть до потери им детонационной способности.

Кроме того, рассматриваются различные способы, не находящие в настоящее время достаточного применения: механические, криогенные, импульсные, растворение, кавитационной эрозии, биологические и др.

Однако эти работы ведутся пока недостаточными темпами. За указанный период в РФ переработано только 300 тыс.т. конверсионных ВМ, из 1,6 млн.т. ВМ (с учетом порохов и твердых ракетных топлив) подлежащих утилизации. В 2005 году началась реализация проекта Федеральной целевой программы промышленной утилизации В и ВТ на 2005-2010 годы. Проектом предусматривается утилизация 1,7 млн.т. боеприпасов [68], в том числе:

артвыстрелы калибра 20-37 мм	7,084 млн. шт.
артвыстрелы калибра 57-152 мм	31,906 млн. шт.
минометные выстрелы	3,833 млн. шт.
гранотометные выстрелы	5,772 млн. шт.
НУРСы	661 тыс. шт.
авиабомбы	25 тыс. шт.
РБК и БКФ	22 тыс. шт.
БЧ ракет	176 тыс. шт.
РГБ разных калибров	173,5 тыс. шт.
инженерные боеприпасы	4,4 млн. шт.
патроны стрелкового оружия ПСО	7,0 млрд. шт.

Из указанного объема утилизации в течение 2009-2012 годов значительная часть была уничтожена методом подрыва силами Минобороны России. Проектом программы [21] на 2012 -2015 годы предусмотрено продолжение утилизации силами промышленности.

Следует отметить, что в отличие от госзаказа на предыдущие годы, где основную массу составляли боеприпасы в тротиловом снаряжении или раздельно-шашечные (боеприпасы 1-2 классов), в новой программе почти

65% составляют боеприпасы в снаряжении гексогеносодержащими ВВ (боеприпасы 3-4 классов) и только ~ 34% в снаряжении тротилом.

В результате утилизации всего объема боеприпасов предполагается получить 14 тыс. т ВВ и 224 тыс. т порохов.

1.3 Основные направления развития промышленных взрывчатых веществ с использованием конверсионных взрывчатых материалов

Основная масса взрывчатых материалов (ВМ), изъятых из утилизированных боеприпасов, используется для производства ВВ промышленного назначения. В настоящее время конверсионные ВМ используются при изготовлении нескольких десятков промышленных взрывчатых веществ, среди которых наряду с известными гексогено- и тротилсодержащими, появились новые. Разработка новых промышленных ВВ на основе конверсионных ВМ осуществлялась с учетом следующих предпосылок:

- основной потребитель разрабатываемых промышленных ВВ – горно-добывающие предприятия, геологоразведка, предприятия строительной промышленности и другие отрасли;
- промышленные ВВ на основе извлекаемых из боеприпасов ВВ и порохов не должны уступать по эффективности, технологической и экологической безопасности промышленным ВВ массового применения;
- технологические процессы изготовления продукции из утилизируемых ВМ должны быть по возможности адаптированы к существующим производствам снаряжения и изготовления штатных промышленных ВВ;
- изготовление разрабатываемых промышленных ВВ должно быть не только на заводах, но и непосредственно на базах (арсеналах) хранения боеприпасов;

- разрабатываемые промышленных ВВ должны передаваться потребителю для производства взрывных работ по процедуре, установленной Ростехнадзором.

На основе такого подхода и анализа рецептурно-технологических особенностей все извлекаемые из боеприпасов ВМ были разделены на четыре основные группы.

Первая группа – тротил и его смеси типа ТА, ТД.

Вторая группа – литые смеси, содержащие гексоген: МС, ТГ, ТГА-16, ТГАГ-5, ТГАФ-5М.

Третья группа – сухие или влажные смеси, содержащие гексоген: А-IX-I, А-IX-2, А-IX-20.

Четвертая группа – пороха и ТРТ.

Первая группа конверсионных ВВ представлена составами на основе тротила и его смесей. По объему применения ведущее место занимает тротил-У, получаемый различными методами при демилитаризации боеприпасов. Кусковой тротил марки УД с крупностью фракции до 50 мм может использоваться только при ручном зарядании скважин. Технологии механического дробления тротила-У до крупности 6-8 мм или получения гранулированного продукта при его выплавке из боеприпасов позволяют использовать тротил-У при механизированном зарядании скважин, при изготовлении сухих смесей с аммиачной селитрой (граммониты марок 30/70, 40/60). В заводских условиях тротил-У используется при изготовлении пашек Т-400Г, альгетолов (марок 15, 25, 35), порокола и др. изделий.

Гексоген является одним из самых мощных бризантных ВВ, однако из-за своей высокой чувствительности, он не используется для снаряжения боеприпасов самостоятельно, а только во флегматизированном виде (составы А-IX-I, А-IX-2, А-IX-20) и в плаве с тротилом (составы ТГ, МС, ТГА-16, ТГАГ-5, ТГАФ-5М). В литых смесях на основе тротила и гексогена последний можно рассматривать как сенсibilизатор по отношению к тротилу, при этом чувствительность к механическим

воздействиям таких смесей находится на уровне тротила. В составах А-IX-1, А-IX-2, А-IX-20 используется флегматизированный гексоген (с добавкой 5% парафина, церезина или воска). Такая смесь имеет чувствительность к удару 28%, к трению – 3000 кгс/см². Получаемый в процессе утилизации боеприпасов гексоген и его смеси используется при изготовлении наиболее мощных ВВ – альгетолов, гекфола, гексотала, алюмогекситов (в смесях с аммиачной селитрой) и эмульсионного ВВ марки эмульсен-Г.

Необходимо отметить, что используемые при изготовлении конверсионных ВВ пироксилиновый порошок (ПП), баллиститный порошок (БП), твердое ракетное топливо (ТРТ) тротилсодержащие и гексогеносодержащие составы уступают по некоторым эксплуатационным показателям аналогичным промышленным ВВ гранулолиту, граммониту 30/70, граммониту 79/21, аммониту скальному № 1. Основными показателями различий, характеризующими безопасность в обращении с новыми ВВ, остаются высокая чувствительность к механическим воздействиям, в частности к удару и трению. Поэтому главное внимание при разработке новых ПВВ на основе конверсионных ВМ было уделено проблеме снижения чувствительности к механическим воздействиям.

Снижение чувствительности к механическим воздействиям на практике достигается введением в состав взрывчатой смеси специальных веществ – флегматизаторов. В качестве флегматизаторов может быть использовано большое количество веществ с различными теплофизическими, физико-механическими и физико-химическими свойствами. Эффективными флегматизаторами могут выступать: вода, селитры и их водные растворы, продукты перегонки нефти (масла и высокомолекулярные топлива), воскообразные вещества, жиры природного происхождения.

Перечисленные выше флегматизирующие вещества по степени пожароопасности располагаются в порядке возрастания опасности следующим образом:

- вода и водные растворы солей;

- жиры природного происхождения и воскообразные вещества;
- продукты перегонки нефти.

При этом наличие воды в качестве флегматизирующего агента в составе ВВ вызывает трудности использования их при отрицательных температурах, которые практически отсутствуют при использовании нефтепродуктов.

Проведенными исследованиями [44] установлено, что введение в заряд ПП, воды или растворов солей снижает чувствительность к удару до уровня $H_0 = 200-250$ мм, чувствительность к трению до $P_0 = 1300-1390$ кгс/см². Добавление к пороху 1% приборного масла снижает чувствительность к удару ПП до уровня $H_0 = 150$ мм, БП до $H_0 = 100-150$ мм, чувствительность к трению ПП при этом не изменяется, а у БП снижается до $P_0 = 1270-3025$ кгс/см². Смешение порохов с аммиачной селитрой (30%) доводит соответствующие показатели: чувствительность к удару ПП до уровня $H_0 = 500$ мм, БП до уровня $H_0 = 300-500$ мм, чувствительность к трению ПП до $P_0 = 1573$ кгс/см², а БП $P_0 = 1815-3025$ кгс/см².

Зерненные ПП флегматизированные водой или водными растворами селитр применяются, как правило, в качестве ВВ местного изготовления. Обоснованность такого подхода обусловлена соответствующим гранулометрическим составом зерненных порохов, обеспечивающим создание требуемой плотности заряжения ($0,7-0,9$ г/см³), достаточной чувствительностью к инициирующему импульсу ($P_{кр} = 40$ кбар) и критическим диаметром, соответствующим технологии производства взрывных работ при дроблении горных пород на земной поверхности. Однако трудоемкость процесса флегматизации ПП на местах проведения работ, особенно в зимнее время, а также низкая технологичность заряжания сдерживают такой способ использования ПП.

ПВВ, в которых основными компонентами являются ПП, БП и ТРТ с крупностью частиц до 20 мм, а флегматизация осуществляется введением в состав взрывчатой смеси продуктов перегонки нефти и (или) аммиачной

селитры (АС), носят название гранипоров. В настоящее время разработано несколько десятков рецептур гранипоров, некоторые из которых имеют близкий компонентный состав, но различаются технологическими параметрами производства продукции.

Совершенствование рецептур пироксилиновых гранипоров осуществлялось за счет поиска эффективного флегматизатора – минерального масла, дизельного топлива, жиров животного происхождения и др., определения его оптимального содержания, а также введения в состав ВВ дробленого трубчатого ПП (гранипоров марки ПЗФ, ППФ, ФМ). Из-за повышенной чувствительности ПП к инициирующему импульсу, созданные рецептуры пироксилиновых гранипоров положительно зарекомендовали себя при ведении взрывных работ в обводненных условиях только при ручном способе заряжания скважин.

Повышение энергетических (объемной концентрации энергии) и эксплуатационных (водоустойчивость, снижение чувствительности к удару) характеристик составов на основе ПП, БП и ТРТ производится введением в них загущенного раствора (водного геля) АС (гельпоров марок №№ 1...3, ГП-1, ГП-2).

Для оценки эффективности данных ПВМ, используется критерий удельной мощности ВВ, определяемым формулой [44]:

$$N_{y\partial} = \rho Q D,$$

где $N_{y\partial}$ – удельная мощность ВВ, кВт/м²;

ρ – плотность ВВ, кг/м³;

Q – теплота взрыва, кДж/кг;

D - скорость детонации, м/с.

Характеристики некоторых промышленных взрывчатых веществ, разработанных с использованием взрывчатых компонентов утилизируемых боеприпасов, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Промышленные взрывчатые материалы, разработанные с использованием взрывчатых компонентов утилизируемых боеприпасов

Наименование ВВ	Теплота взрыва, кДж/кг	Плотность, кг/м ³	Скорость детонации, км/с	Кислородный баланс, %
Тротил-У	3900	750-800*	5,0 - 5,5	- 7,4
Граммонит 30/70	3768	800-900*	3,8 - 4,5	- 45,9
Граммонит 40/60	3747	800-900*	3,7 - 4,4	- 36,5
Альгетол-15	4735	900-1000*	4,6	- 80,8
Альгетол-25	4860	900-1000*	4,8	- 78,8
Альгетол-35	4986	900-1000*	5,0	- 75,9
Эмульсен-Г	4291	1450-1480	5,4-6,0	- 16,0
Эмульсен-П	3200	1300-1400	5,2-5,6	- 15,6
Поротол	3875	1500	6,5	- 59,4
Гельпор-1	3771	1300-1400	5,0-5,2	- (0,8-14,0)
Гельпор-2	4190	1300-1400	4,5-5,3	от+3,0 до -8,0
Гельпор-3	3561	1300-1400	5,1-5,3	от+1,9 до -6,7
Гельпор ГП-2У	3790	1450	5,0	- 9,0
Гельпор ГП-2Д	3580	1450	5,6	- 9,0
ПДГВ	4620	1550	7,0	- (11,4-14,0)
Дибазит	3344-3762	750-850*	2,8-3,0	- (30-45)
Гранипор Б1	3344-3762	750-850*	4,5-5,0	- (50-60)
Гранипор Б2	3344-3762	750-850*	4,5-5,0	- (50-55)
Гранипор Б3	3553-3970	700-800*	5,0-5,2	- (50-70)
Гранипор Б4	3344-3762	850-900*	4,5-5,0	- (24-36)
Гранипор БП	700-900	800-900*	3,4-3,9	-50
Гранипор ППФ	790-870	800-900*	4,5-5,0	-(42-45)
Гранипор ПЗФ	790-870	700-900*	4,5-5,0	-(42-45)
Гранипор ФМ	790-870	850-900*	4,5-5,0	-(42-45)
Гранипор ВГ 90/5	1080-1140	900-960*	5,0-6,5	-(39-43)
Гранипор ВГ 90/8	1050-1100	920-980*	5,0-6,5	-(40-44)
Гранипор ВГ 50/40	1030-1060	1020-1080*	4,5-5,5	-(9-19)
Гранипор ВГ 30/30	910-1050	1250-1350*	4,5-5,5	-(7-17)
Гранипор ВГ 60/30	980-1075	1250-1350*	5,5-6,0	-(23-30)

Примечания: * - насыпная плотность

Из таблицы 1.1 и по данным других работ [14,44,68] видно, что почти все промышленные ВВ, разработанные из утилизируемых ВМ, превосходят по удельной мощности аммонит 6ЖВ, принятый в качестве эталонного ВВ. Наиболее безопасными к механическим, тепловым воздействиям, а также в

отношении экологии являются промышленные ВВ эмульсионного типа, а также гелпоры.

Исходя из физической консистенции и химического состава гелпоры наименее исследованы по ряду причин, но, одновременно, позволяют предположить возможные особые взрывчатые характеристики и взрывное воздействие из-за наличия пирксилинового пороха и гелевой матрицы на водной основе.

1.4 Анализ экспериментальных методов оценки относительной работоспособности ПВВ

Из классических трудов [1,48,49,87,89, 92,97,114,115] известно, что выделяющееся при взрыве тепло преобразуется в механическую работу, которую совершают продукты взрыва (ПВ) в процессе своего расширения.

Идеальным с точки зрения отсутствия термодинамических потерь является адиабатический процесс расширения ПВ, не сопровождающийся теплообменом с окружающей средой.

В реальных условиях наиболее близким к адиабатическому является взрыв ВВ в воздушной среде, сопровождающийся адиабатическим расширением ПВ и сжатием при этом воздуха с образованием впереди фронта расширяющихся газов – воздушной ударной волны (ВУВ).

Исходя из сказанного, мерой идеальной работоспособности ВВ может служить максимальная работа, которую совершают ПВ при своем адиабатическом расширении до давления окружающей среды (воздушной, водной и грунте).

Обычно в качестве конечного состояния принимается нормальное атмосферное давление воздуха (0,1 МПа) и соответствующая величина работоспособности. Количественно ее можно определить, измерив энергию образования ВУВ, оторвавшейся от ПВ после их полного торможения, которое наступает при достижении в ПВ атмосферного давления.

Таким образом, полная работа взрыва максимальна при расширении продуктов взрыва в воздух. В этом случае она практически равна теплоте взрыва ВВ. При взрыве в горной породе часть энергии взрыва идет на нагревание породы, часть - в виде тепловой энергии остается в продуктах взрыва, так что энергия, идущая на механическую работу, всегда меньше теплоты взрыва и может составлять от нее 70-80% [6,7,44,54].

В последние десятилетия широкое распространение получили низкочувствительные ПВВ, представляющие собой грубодисперсные и водосодержащие (в том числе и эмульсионные) смеси на основе аммиачной селитры. Критические диаметры детонации многих из них составляют 100...200 мм. Поэтому большинство существующих лабораторных методов определения работоспособности, разработанных в свое время для испытаний бризантных индивидуальных и мелкодисперсных смесевых ВВ, имеющих небольшой критический диаметр детонации (10...30 мм), непригодны для новых промышленных ВВ, разрабатываемых в том числе и из конверсионных взрывчатых материалов. В связи с этим были разработаны экспериментальные методы определения относительной работоспособности [6,- 8,44,52,54,60,67,68,72,90], позволяющие работать с зарядами большой массы:

- метод воронкообразования;
- метод подводного взрыва;
- метод воздушных ударных волн;
- метод сейсмозрывных волн.

Метод воронкообразования. Существует несколько разновидностей метода воронкообразования. Одна из них предусматривает подрыв сосредоточенных зарядов постоянной массы (как правило, 2,25 или 4,5 кг) в однородной крепкой породе в скважинах различной глубины. При этом определяют критическую глубину заложения заряда, при которой действие взрыва только начинает проявляться на поверхности (полный камуфлет) и

измеряют объемы образуемых взрывом воронок при уменьшении глубины заложения.

Вторая разновидность метода воронкообразования, отличается от предыдущего применением цилиндрических зарядов ($d = 153$ мм; $l = 918$ мм) постоянного объема, а не массы. Положительная сторона этого варианта заключается в учете важнейшего фактора взрыва – объемной концентрации энергии заряда.

Известна также методика сравнительной оценки работоспособности ПВВ на основе утилизируемых боеприпасов по воронке выброса в песке [8]. В данной методике заряды испытуемого и эталонного ВВ массой 3 кг подрываются в песке с плотностью 1,53-1,56 г/см³ на оптимальной глубине заложения (125-130 см). Относительную работоспособность определяют по величине соотношения объемов воронок выброса для эталонного и испытуемого ВВ.

Основным недостатком метода воронкообразования является сравнительно невысокая точность, так погрешность по оценке некоторых авторов может достигать 10-15% [72,111] и даже до 25% [72]. Однако представляется возможным уменьшить погрешность измерений за счет улучшения контроля за состоянием среды и повышения точности определения объема воронки выброса.

Метод подводных взрывов, при котором заряды как правило массой 3,63 кг взрывают на глубине 7,5 м в водоеме диаметром 30 м и глубиной 15 м и замеряют параметры ударной волны в воде и пульсации газового пузыря. По результатам замеров вычисляют не только выделившуюся при взрыве энергию, но и ее распределение между ударной волной и поршневым действием продуктов детонации.

Метод воздушных ударных волн. Довольно часто на практике работоспособность ВВ оценивают с помощью тротилового эквивалента (ТЭ). Это – относительная величина, выражающая работоспособность данного ВВ через показатель работоспособности тротила.

Экспериментально ТЭ чаще всего находят путем измерения параметров УВ в воздухе. Такими параметрами могут выступать давление во фронте УВ и импульс. При этом важно соблюдать следующее правило: измерения должны выполняться на расстояниях, где вступает в действие закон подобия взрывных волн, суть которого состоит в том, что при взрыве зарядов сферической формы параметры УВ являются функциями только массы ВВ или ее энергетического эквивалента и расстояния от геометрического центра взрыва и не зависят от детонационных параметров ВВ.

Метод сейсмовзрывных волн. Относительную работоспособность ВВ можно определить также по сейсмическому действию зарядов различных ВВ при взрывании их в одних и тех же условиях.

Все приведенные выше экспериментальные методы определения относительной работоспособности ВВ обладают определённой погрешностью. Наиболее корректным следует признать совместное использование максимально возможного числа методов. При этом необходимо использование эталонного ВВ, а сами взрывы проводить в идентичных условиях во всех средах.

1.5 Постановка цели и задач исследований

Анализ проблем взрывного разрушения горных пород свидетельствует о том, что 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.

Длительное время проблема использования энергии взрыва в промышленности решалась на базе мощных молекулярных и смесевых ВВ в основном военного назначения. Однако на рубеже XX – XXI веков произошли кардинальные изменения в сфере оборота ВВ промышленного

назначения. Суть их состоит в замене дорогостоящих и опасных в обращении тротилсодержащих ВВ заводского изготовления на низкочувствительные гранулированные, водосодержащие, эмульсионные и суспензионные смеси типа окислитель-горючее на основе аммиачной селитры. Новый толчок этому процессу придали проводимые в последние годы работы по утилизации устаревших видов обычных боеприпасов и использованию извлекаемых взрывчатых материалов для разработки и постановки на производство новых видов ПВВ и изделий из них для горнорудной промышленности. Данные ВВ в настоящее время используются на подземных и открытых выработках, однако их более широкое применение сдерживается отсутствием стандартных сертифицированных методов оценки их характеристик. На данный момент разработка новых рецептур ВВ опережает разработку методов их испытаний. Вследствие этого промышленные ВВ нового поколения часто применяются без достаточной проверки их взрывчатых свойств.

Комплекс взрывчатых свойств любого ВМ включает показатели, характеризующие безопасность и энергетические свойства. Недостаточная полнота исследований показателей безопасности на практике приводит к росту числа аварий и техногенных катастроф. Основанные на энергетическом критерии и опыте использования гомогенных и мелкодисперсных ПВВ заводского изготовления схемы расчета параметров буровзрывных работ не учитывают в должной мере особенности взрывных процессов в ПВВ нового поколения. Все это снижает реальную эффективность их использования, повышает опасность взрывных работ и их вредного экологического воздействия на окружающую среду.

Таким образом, прогнозирование механического и экологического действия взрыва на окружающую среду для эффективного целенаправленного использования невозможно без детальных исследований самих взрывных процессов. По существу, решение проблемы состоит в установлении связи между характеристиками исходного ВВ и заряда,

характеристиками возникающих в них взрывных процессов и результатом воздействия на окружающую среду и прямо связано с развитием теоретических основ физики взрыва и механического действия взрыва.

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. Смешение 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-регистрирующей 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 условиях, 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.

2 Экспериментальные исследования характеристик гелевых ПВВ

Из всего многообразия ПВВ, изготовленных по конверсионным технологиям, особый интерес представляют гелъпоры ГП-2, ГП-Т и промежуточные детонаторы гексогенсодержащие водонаполненные ПДГВ, разработанные Российским химико-технологическим университетом им. Д.И.Менделеева [3,22,].

Гелъпоры это водосодержащие ВВ, представляющие собой композицию зерновых или трубчатых артиллерийских пироксилиновых порохов и гелеобразного раствора окислителей. С целью улучшения экологических показателей при подземных взрывах в рудниках состав гелъпора усовершенствован заменой хрома на трёхвалентное железо [32].

ПДГВ представляют собой механическую смесь гелъпора (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. Все исследования проведены в сравнении с эталонными ВВ (ТНТ, аммонит) и типовыми ВВ, т.е. наиболее применяемыми на карьерах (эмульсионные ВВ, гранипор, граммонит и др.).

Для оценки чувствительности и опасности ПВВ в обращении проводились испытания зарядов ВВ на воздействие пожаров, электростатическую безопасность, а также пуль стрелкового оружия.

Кроме того, исследовались вопросы, связанные с разработкой способов расснаряжения гексогеносодержащих боеприпасов, как источника получения гексогеносодержащих компонентов для изготовления ПВВ.

2.1 Утилизация боеприпасов, снаряженных гексогеносодержащими ВВ

В последние годы при расснаряжении тротилсодержащих боеприпасов достаточно широко используются способы выжигания и выплавления

взрывчатого вещества боеприпаса. В этом случае расснаряжение производится в местах хранения и не требует дорогостоящей транспортировки.

При реализации этих способов предусматривается установка боеприпаса на ложемент и подвод тепла, достаточного для возгорания ВВ и одновременного его плавления. Однако при такой технологии расснаряжения часто имеет место срыв горения и неполное выплавление ВВ. Это, в свою очередь, требует проведения повторной операции подвода тепла, которая применительно к гексогеносодержащим ВВ является операцией повышенной взрывоопасности.

С целью обеспечения принципиальной возможности надежного воспламенения гексогеносодержащего ВВ заряда боеприпаса, его горения без перехода в детонацию и обеспечения полноты выплавления ВВ, разработан и апробирован новый способ расснаряжения, защищенный патентом РФ на изобретение [33].

Поставленная цель достигнута выбором режима поджига, включающего поэтапный поджиг от огнепроводного шнура порохового заряда, а от него - ветоши пропитанной бензином, от которой воспламеняется тротил-гексогеновая шашка ТГ-20, воспламеняющая непосредственно заряд боеприпаса. Каждый из элементов в этой системе надежно воспламеняется от предыдущего и надежно поджигает следующий. Сущность проведенных работ представлена на рисунке 2.1

Необходимо отметить, что значительная доля боеприпасов, подлежащих утилизации, имеют шарообразную форму. Поэтому для обеспечения бесперебойного горения и вытекания расплавленного ВВ из корпуса боеприпаса, его заливное отверстие, через которое производится воспламенение заряда и вытекание ВВ, должно быть расположено под некоторым оптимальным углом к плоскости горизонта. При углах, отличных от оптимального в большую или меньшую сторону, наблюдается либо срыв

горения и плавления или наличие остаточного расплава в корпусе боеприпаса.

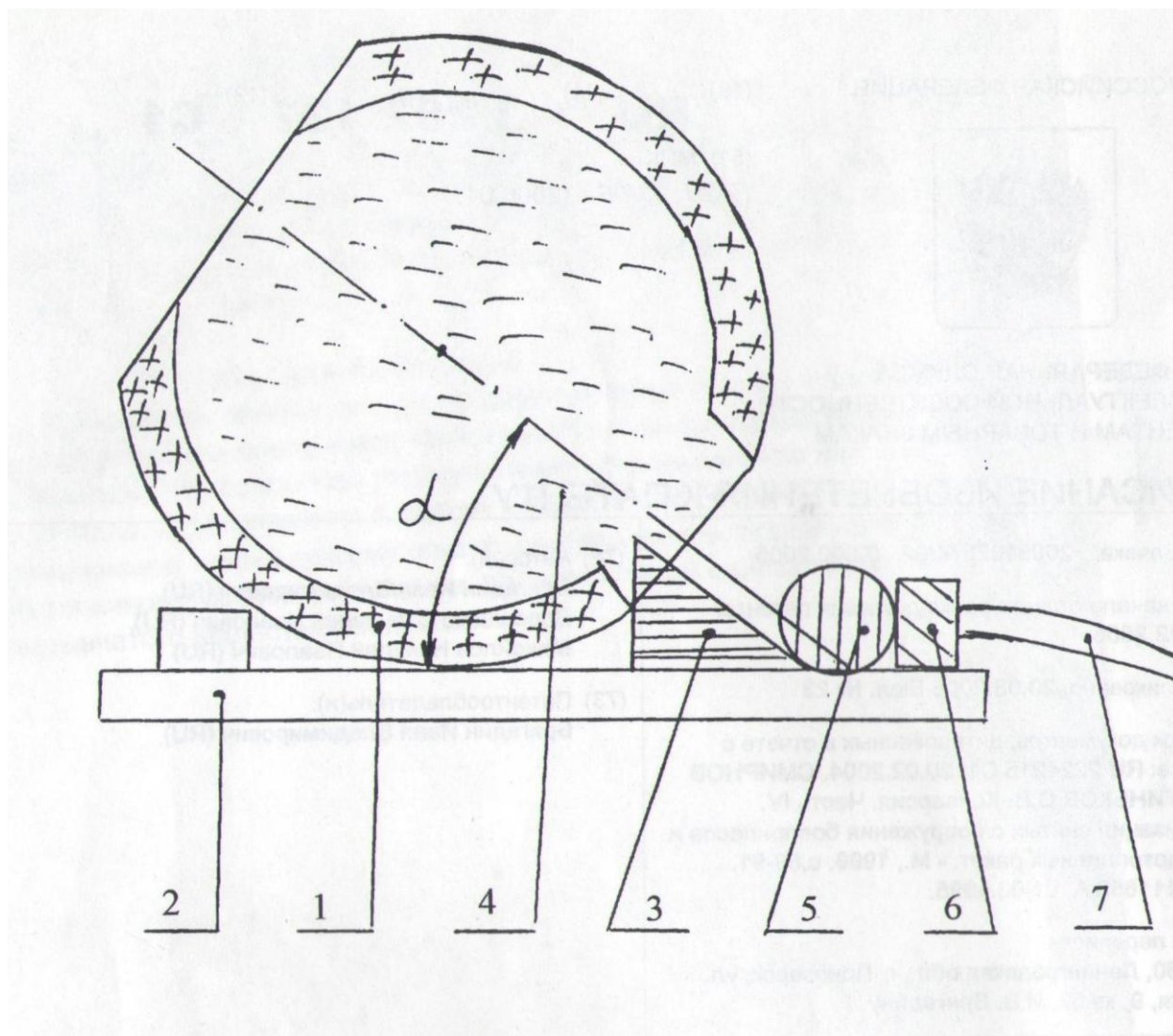


Рисунок 2.1 - Схема утилизации боеприпаса

1 – корпус; 2 – ложемент; 3 – промежуточная шашка; 4 – взрывчатое вещество заряда; 5 – ветошь; 6 – заряд пироксилинового пороха; 7 – огнепроводной шнур.

На одном из объектов Минобороны РФ указанный способ апробирован при утилизации нескольких сотен боевых частей зенитно-ракетных комплексов С-200, С-75 и С-125. В процессе расснаряжения получен оптимальный угол наклона заливного отверстия к горизонту равный

30...45 градусам. При меньших углах происходит срабатывание промежуточного детонатора и, как следствие подрыв всего боеприпаса, а при больших – имеет место срыв горения. В диапазоне оптимальных углов наклона промежуточный детонатор срабатывает после полного выгорания заряда ВВ.

В частности, при расснаряжении боевых частей ЗРК С-200 описанным выше способом было зафиксировано интенсивное горение и выплавление ВВ боеприпаса в течение 25 минут и спад интенсивности еще в течение 10 минут. Для сбора вытекающего расплава ВВ используется поддон с водой, который устанавливается под боеприпасом. Количество выплавленного (вторичного) ВВ составляет 30-40 процентов от исходного. После окончания процесса расснаряжения в корпусах боеприпасов остатков взрывчатого вещества не обнаружено, а сами корпуса пригодны для дальнейшей утилизации. Общий объем утилизированных боеприпасов указанным способом составил не менее 10 тыс. шт.

2.2 Исследование характеристик гелевых ПВВ, изготовленных из взрывчатых компонентов утилизируемых боеприпасов

При утилизации боеприпасов стоит проблема максимального вторичного использования содержащихся в них взрывчатых и невзрывчатых компонентов.

Из всего многообразия конверсионных взрывчатых компонентов практически полностью возвращаются в производство пироксилиновые пороха, значительная доля ТРТ и несколько меньше ТНТ. В то же время практически полностью уничтожаются гексогенсодержащие боеприпасы, вследствие особой сложности и опасности их утилизации. Хотя эти взрывчатые материалы востребованы для производства ПВВ повышенного могущества.

2.2.1 Совершенствование ПВВ на гелевой основе

Гельпоры относятся к водосодержащим промышленным взрывчатым веществам на основе гелеобразной матрицы, сенсibilизированной пироксилиновым порохом.

Водосодержащие пороховые ПВВ, разработка которых начата за рубежом в конце 50-х годов XX века [9], а затем получила развитие в СССР [44], нашли широкое применение при проведении взрывных работ в промышленности, строительстве и в чрезвычайных ситуациях. Химический состав таких ПВВ разработан, исследован и описан в ряде работ [44,60,95] и запатентован в России и других странах [74-83].

В дальнейшем был разработан, испытан и запатентован водосодержащий пороховой взрывчатый состав [3]. Указанное ПВВ имеет в своём составе пироксилиновый порох, натриевую селитру, органическое горючее, аммиачную селитру, полиакриламид, тиосульфат натрия, воду и бихромат калия.

В ходе испытаний этого ПВВ установлены его детонационные характеристики (критический диаметр, скорость детонационной волны и др.), характеристики безопасности (переход горения в детонацию, устойчивость к прострелу пуль, электростатичность, чувствительность к удару и др.) и характеристики работоспособности (сжатие свинцового столбика, воронка взрыва, давление в воздушной и подводной ударных волнах). Подробно результаты исследований изложены в ряде работ [13,15,34,40,43,88].

Водосодержащий пороховой взрывчатый состав по патенту [3], по своим совокупным характеристикам на современном уровне можно считать близким к идеальному.

Однако в ряде ситуаций этот состав всё-таки имеет ограничения по применению. Например, при взрывных работах в подземных и стеснённых условиях, когда из-за ограниченности пространства и затруднённой вентиляции в окружающей атмосфере создаются высокие концентрации

экологически вредного (токсичного) шестивалентного хрома, входящего в состав бихромата калия.

Вместе с тем, для ведения взрывных работ в стеснённых условиях и щадящем воздействии на окружающую среду, требуются удлинённые заряды с малым диаметром [11], а при взрыве в воздухе любого заряда ПВВ без оболочки, его критический диаметр заметно увеличивается по сравнению с паспортными данными.

Для расширения диапазона условий применимости и повышения эффективности воздействия взрывов зарядов на основе водосодержащего порохового взрывчатого состава по патенту [3] предлагается усовершенствованный состав [32].

Снижение экологического воздействия достигается заменой во взрывчатом составе бихромат калия на хромовокислые квасцы, в которых содержится экологически менее опасный двухвалентный хром, или смесь хромовокислых квасцов и алюминия в консистенции пудры. Такая замена позволяет обеспечить сшивку компонентов состава без потери показателей безопасности и работоспособности.

Повышение эффективности достигается нанесением на поверхность заряда слоя алюминия в виде плёнки или фольги. Алюминиевая плёнка выполняет одновременно две функции. Первая – механическая, препятствует быстрому разлёту продуктов взрыва, чем способствует более полному протеканию реакции взрывчатого превращения, т.е. повышает к.п.д. взрыва, и уменьшает критический диаметр детонации ПВВ. Вторая – химическая, приводит к повышению эффективности взрывного воздействия за счёт дополнительной энергии, выделяемой в процессе окисления алюминия в фазе разлёта продуктов взрыва.

Применение алюминиевой фольги для повышения эффективности взрывного воздействия подтверждено в ходе специальных исследований [23,24].

В зависимости от конкретных условий взрывания, количество алюминия в плёнке (толщина фольги) определяется расчётно-экспериментальным методом.

Предлагаемый взрывчатый состав изготовлен в лабораторных условиях и подвергнут испытаниям на предприятии ОАО «Завод «ТЭКОН» и ФГУП «СКТБ «Технолог» (Санкт-Петербург). Результатами испытаний подтверждены характеристики предлагаемого взрывчатого состава.

2.2.2 Определение основных взрывчатых характеристик

Компонентный состав гелепоров марок ГП-2У, ГП-2ДП [22] и ГП-Т [23] приведен в таблице 2.1, основные характеристики – в таблице 2.2.

Таблица 2.1 - Компонентный состав гелепоров

Основные компоненты	Содержание компонента, %		
	ГП-2У	ГП-2ДП	ГП-Т
Порох пироксилиновый	35	48	50
Селитра аммиачная	46	34	28
Натрий азотнокислый	5,5	5,0	5
Карбамид	3,5	3,0	3
Вода	10	10	10
Алюминиевая пудра	0	0	4
Гелеобразующая добавка - полиакриламид, сверх 100%	0,5	0,5	0,5
Структурир. элемент, сверх 100%	0,15	0,15	0,15

Таблица 2.2 – Основные расчетные и экспериментальные характеристики испытываемых ВВ

Наименование характеристик	Тип ВВ			
	ПДГВ	ГП-2У	ГП-2ДП	ГП-Т
Теплота взрыва, кДж/кг	4620	3790	3580	4150
Объем газов, л/кг	820	878	844	853
Кислородный баланс, %	-14,0	-9	-9	-9
Скорость детонации, км/с	7,0	4,9-5,0	5,6	6,2-6,6
Критический. диаметр, мм	-	18-20	8-10	12-14
Плотность, г/см ³	1,55	1,45	1,45	1,46

Измерение скорости детонации проводилось на стадиях лабораторных, лабораторно-стендовых и полигонных испытаний.

При проведении лабораторных испытаний использовался метод оптической фоторегистрации в режиме непрерывной развертки на приборе ЖФР [44]. Заряды гелеобразных ПВВ массой до 70 г, помещенные в стеклянные трубки диаметром 14-18 мм, инициировались с одного конца. Скорость детонации определялась по углу наклона светящегося следа фронта детонации при фиксированной частоте вращения зеркала прибора.

Вследствие того, что в гелеобразных ВВ фронт и продукты детонации проявляют слабое свечение, суммарная относительная погрешность измерения возрастает с 0,8% до 2,5%.

При проведении лабораторно-стендовых испытаний применялся метод «ионизационных датчиков». Суть метода заключается в измерении с помощью частотомера интервала времени T между срабатыванием ионизационных датчиков, размещенных в заряде ВВ на фиксированном между собой расстоянии. Скорость детонации определяется по формуле:

$$D = L / T, \quad (2.1)$$

где L – расстояние между датчиками.

Погрешность измерения скорости детонации данным методом составляет обычно 0,1-0,3% и складывается из погрешности измерения базы L и погрешности частотомера.

В полигонных испытаниях скорость детонации измерялась по методу Дотриша [44], основанному на сравнении известной скорости детонации ДШ со скоростью детонации испытуемого заряда. Точность определения скорости детонации по этому методу составляет 3 - 4,5 %

Результаты измерений скоростей детонации испытуемых гелевых ПВВ, рассчитанные по зависимости (2.1), приведены в таблице 2.2.

Работоспособность и мощность ВВ оценивались методом определения эффективности, основанном на обжати свинцового крешера продуктами детонации патрона с испытываемым ВВ [44]. Испытания выполнялись на

свинцовых цилиндрах высотой 60 мм и диаметром 40 мм, на которые помещались стальная пластинка диаметром 41мм, толщиной 10мм и заряд массой 50г в бумажном патроне диаметром 40мм. Свинцовый цилиндр с пластиной и зарядом в свою очередь располагались на массивной стальной плите. Показатель эффективности – обжатие столбика крешера Δh , измеряемое в миллиметрах.

Результаты определения эффективности штатных ВВ и гелепоров представлены таблице 2.3.

Согласно исследованиям [44] показатель эффективности характеризует, по сути, сумму бризантного и фугасного действия взрыва. Для количественной характеристики по пробе Гесса можно использовать абсолютное изменение высоты свинцового столбика Δh и относительное α , а также коэффициент эффективности по отношению к ТНТ $\alpha/\alpha_{\text{ТНТ}}$. Из таблицы 2.3 видно, что значения показателя эффективности гелепоров почти в 2 раза выше, чем у традиционных ВВ, то же соотношение получается и при оценке эффективности данных ПВВ по критерию удельной мощности [6,7,20].

Таблица 2.3 - Значения показателей эффективности ВВ

Параметры	Тротил	Гельпоры		Аммонит 6 ЖВ
		ГП-2ДП	ГП-2У	
$\Delta h, \text{мм}$	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

2.2.3 Испытания на безопасность

Комплекс испытаний на безопасность включал следующие виды [15]:

- испытания на внутреннее воспламенение;
- испытания пожарной опасности;
- определение электростатической безопасности;
- испытание на прострел пуль стрелкового оружия.

Испытания на внутреннее воспламенение (зажигание) в замкнутом объеме проводилось для определения возможности воспламенения, горения и перехода горения в детонацию внутри технологических аппаратов при их производстве, в закрытой таре при хранении и перевозке, или выгорания при несанкционированном взрыве зарядов геляпора в скважинах и шпурах при производстве взрывных работ. Испытания проводились по рекомендациям экспертов ООН, серия 5, испытание 5(b)(i i). Общий вид испытательной установки приведен на рисунке 2.2.

Гельпор размещался в стальной трубе длиной 460 мм внутренним диаметром ~74 мм, толщиной стенки 7,6 мм, закрытой с одной стороны завинчивающейся пробкой, а с другой стороны контрольной пластиной из стали толщиной 8 мм, размером 130х130 мм которая приваривается к трубе. В центре сосуда помещался воспламенитель из 5 граммов черного пороха марки ДРП.

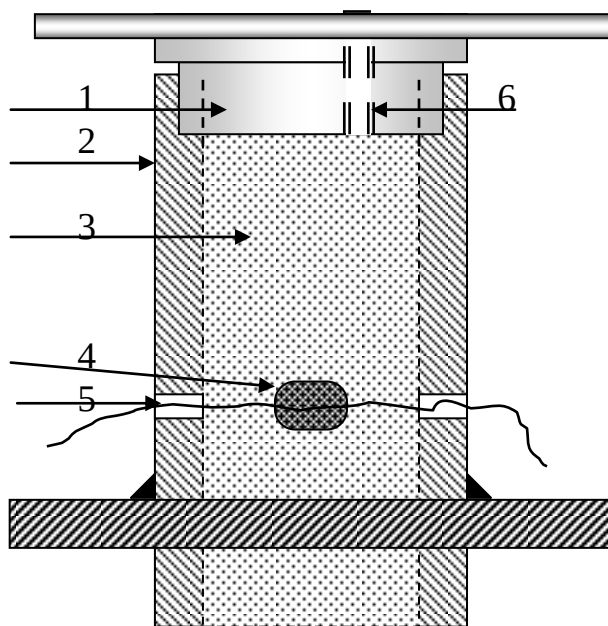


Рисунок 2.2 – Испытания на внутреннее воспламенение

1 – завинчивающаяся пробка, 2 – труба, 3 – гельпор, 4 – воспламенитель, 5 – отверстия Ø2 мм, 6 – отверстие М8 под спускной болт

Результат испытаний оценивался по полноте пробития пластины свидетеля и разрушению стальной трубы на осколки (не меньше двух).

Проводили по 3 опыта для каждого состава. Случаев воспламенения, горения и соответственно перехода горения геляпора в детонацию не наблюдалось.

Испытания пожарной опасности геляпора проводилось по следующим методикам:

- по рекомендациям экспертов ООН, серия 3, испытание 3 (d)(i).

Гельпор массой 125 г в пластмассовом стакане помещался на слой опилок размером 300х300 мм и толщиной 25 мм, пропитанных керосином. Опилки поджигались в двух диагонально противоположных точках. Проводили по три испытания на каждый состав геляпора. Результат испытаний оценивали по загоранию или взрыву геляпора. Случаев загорания или взрыва геляпора не наблюдалось.

- по ГОСТ 19433-88, приложение 5 (методы испытаний, испытание №1).

Полоску геляпора длиной 250 мм укладывали на металлическую полосу и в течении 120с поджигали газовой горелкой. Опыт повторяли три раза. Результат испытаний оценивали по загоранию или отсутствию загорания геляпора. Случаев загорания геляпора не наблюдалось.

- испытание костровой пробой.

На слой пироксилинового зерненого пороха укладывались заряды геляпора в полимерной оболочке. После чего, порошок поджигался с помощью пороховой трубки. В результате испытания установлено, что при воздействии высокотемпературного пламени ($T > 2500^{\circ}\text{C}$) геляпоры не способны к воспламенению и устойчивому горению, сгорает полимерная оболочка и отдельные зёрна пороха с поверхности заряда. Продетые сквозь заряд пороховые трубки сгорают, не воспламенив сам заряд.

Для сравнения пожароопасности ПВВ из утилизированных материалов производилось зажигание гранипоров ФМ, БП-1 и сухого зернёного

артиллерийского пороха марки 18/7. Зажигание во всех случаях производилось от пороховой трубки. В отличие от геляпора, воспламенение гранипоров и сухого пироксилинового зернёного пороха происходит через доли секунды после начала воздействия пламени, сгорание происходит быстро с выделением большого количества тепла. Разницы между воспламенением и горением пироксилинового пороха и гранипорами не обнаружено.

При сжигании зарядов геляпоров на кострах из дров получен результат, аналогичный сжиганию в высокотемпературном пламени.

Необходимо отметить, что при всех испытаниях на воздействие высоких температур (пламя, электрическая дуга) пороховые частицы, контактирующие с пламенем, сгорают не полностью. Прилегающая к гелевой матрице часть порохового зерна остаётся целой, горение в этой зоне затухает.

Определение электростатической безопасности производили по следующим методикам:

- по критерию «проводник-диэлектрик» методом измерения удельной электропроводности геляпора. Схема, реализующая данный метод представлена на рисунке 2.3.

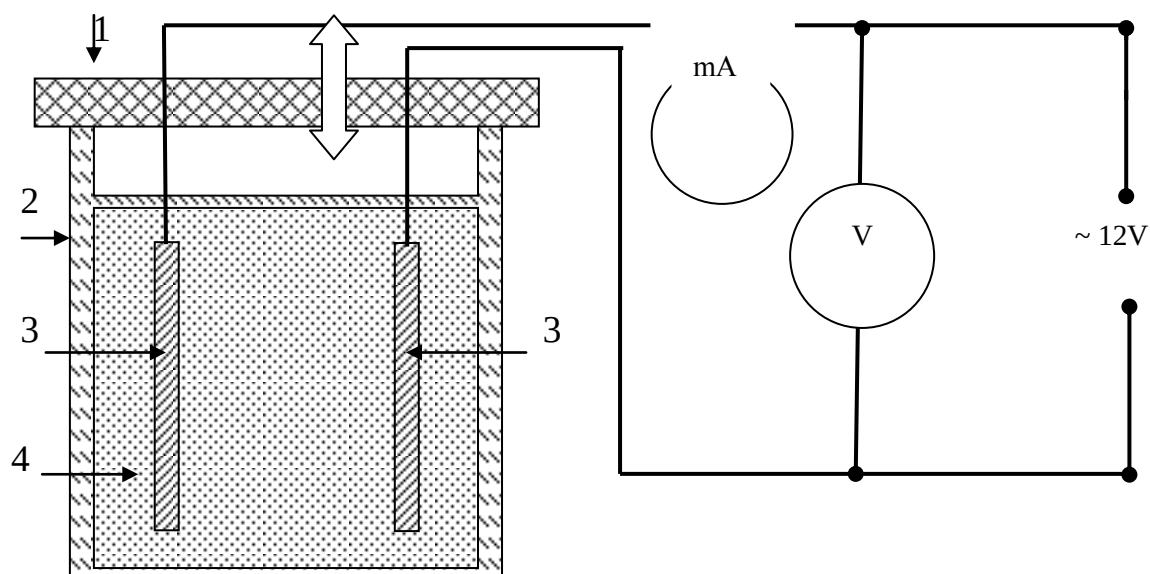


Рисунок 2.3 – Установка испытаний на электропроводность
1 – съёмная крышка с электродами, 2 - сосуд из диэлектрика (стекло, полимер), 3 – электроды 40x40мм, 4 – геляпор

Сосуд для испытаний, снабжённый пластинами-электродами из нержавеющей стали, заполняют гелем в объёме 200 - 250 мл. На электроды подают напряжение 12V переменного тока частотой 50 Гц, и измеряют силу тока между электродами. Удельное электрическое сопротивление вычисляют по формуле:

$$\rho = R \cdot S / L, \quad (2.2)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление, Ом·м;

R – вычисленное по закону Ома электрическое сопротивление между электродами, Ом;

S – площадь электродов, м²;

L – расстояние между электродами, м.

О результатах испытания судят по величине удельного электрического сопротивления. Если вещество электропроводно, его удельное электрическое сопротивление меньше 10^4 Ом·м, т.е. образование электростатического потенциала в принципе невозможно. По результатам испытаний и по зависимости (2.2) установлено, что величина удельного электрического сопротивления геля ГП-2 составляет 150-250 Ом·м;

- моделированием воздействия мощной электростатической искры, которое осуществлялось зажиганием электрической дуги от сварочного аппарата с электродом Ø 4 мм сквозь слой геля, находящегося на стальной пластине.

Результат опытов: при воздействии дуги загорались отдельные частицы пороха, непосредственно контактирующие с дугой и раскалённым докрасна местом контакта дуги с металлом.

Из этих результатов следует вывод о электростатической безопасности гелеобразных ПВМ.

Испытание на прострел пуль стрелкового оружия.

Испытания проводились на 20 зарядах массой по 1 кг в полимерной оболочке. Стрельба велась из автомата Калашникова АК-74 трассирующей

пулей калибра 7,62 мм с расстояния 25 м. По каждому заряду было сделано не менее 5 выстрелов. Детонации и загорания зарядов не зафиксировано.

Сравнительные характеристики безопасности гелевых и эталонных ПВВ представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – 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
Водоустойчивость	высок.	средн.	высок.	высок.	высок.

Сравнение характеристик безопасности позволяет рекомендовать применение гелевых ПВВ в условиях не менее опасных, чем для эталонных.

2.3 Исследования параметров взрывов зарядов гелевых ПВВ в различных средах

Применение гелевых ПВВ более безопасных, чем эталонные, необходимо подкрепить результатами экспериментальных и теоретических исследований взрывного воздействия на грунт и материалы. Существует большое количество методов определения работоспособности ВВ, обзор которых можно найти в [6-8,20,30,31,44,72]. Однако в ряде из них определяется не вся механическая работа, а только часть ее. Во многих методах измеряется некоторый параметр, связанный с проявлением механического действия взрыва. В методе Трауцля – это объем полости в

свинцовой бомбе; в методе баллистического маятника – это угол отклонения маятника; в методе бризантометра Каста – это степень деформации медного крешера и т.д. По этим параметрам и сравниваются ВВ между собой. Если же ввести эталонное ВВ, то эффективность взрыва любого другого ВВ будет характеризоваться относительной работоспособностью $f = (A_u)_{вв} / (A_u)_{эт}$, а в реальном эксперименте $f = (A_u^0)_{вв} / (A_u^0)_{эт}$. Таким образом, величина относительной работоспособности f есть ни что иное как отношение работы $(A_u^0)_{вв}$, совершенной зарядом ВВ заданной массы, к работе $(A_u^0)_{эт}$, совершенной зарядом эталонного ВВ той же массы, в одинаковых условиях.

Базирующийся на данном соотношении нониусный (прямое сравнение с эталоном) метод всех сред, используемый в настоящей работе, позволяет при минимальном количестве опытов получить максимум информативности по относительной работоспособности испытываемых ПВВ. Метод предполагает проведение сравнительных испытаний в воздухе, воде и грунте при практически идентичных условиях среды.

2.3.1 Сравнительные испытания геляпора в воздухе

Испытания проводились в карьере ОАО «Гранит-Кузнечное» в два этапа.

На первом этапе было проведено два опыта. В первом опыте проводился подрыв сосредоточенного заряда из геляпора ГП-2У массой 40 кг на поверхности земли. Во втором опыте проводился подрыв заряда ВВ - граммонита 79/21 такой же массы. Инициирование зарядов в обоих опытах производилось от шашек-детонаторов ТГФ-850. Подрыв осуществлялся электрическим способом.

Опыты проводились при температуре окружающего воздуха $t_0 = 23,3^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении $P_0 = 753 \text{ мм.рт.ст.}$

Подстилающая поверхность – трещиноватый гранитный массив, покрытый слоем щебня толщиной до 20см.

Во время эксперимента контролировались и измерялись следующие параметры:

- величина избыточного давления во фронте ВУВ, ΔP_{ϕ} ;
- длительность положительной фазы сжатия ВУВ, τ_{+} ;
- время прихода фронта ВУВ в точку измерения, t_{ϕ} .

По измеренным параметрам проводились расчет и сравнительная оценка тротильных эквивалентов взрывов зарядов геляпора и граммонита.

Схема постановки опытов представлена на рисунке 2.4.

На втором этапе испытаний с целью сравнения параметров местного действия взрыва, проводился одновременный подрыв зарядов геляпора ГП-2ДП и аммонита 6 ЖВ массой по 2кг каждый. Опыт проводился на ровной глинистой площадке, толщина слоя глины на которой составляла не менее 50см. Расстояние между зарядами – 3м.

После проведения всех опытов проводился замер параметров воронок и их фотографирование.

Измерения параметров ВУВ проводились согласно методики [70].

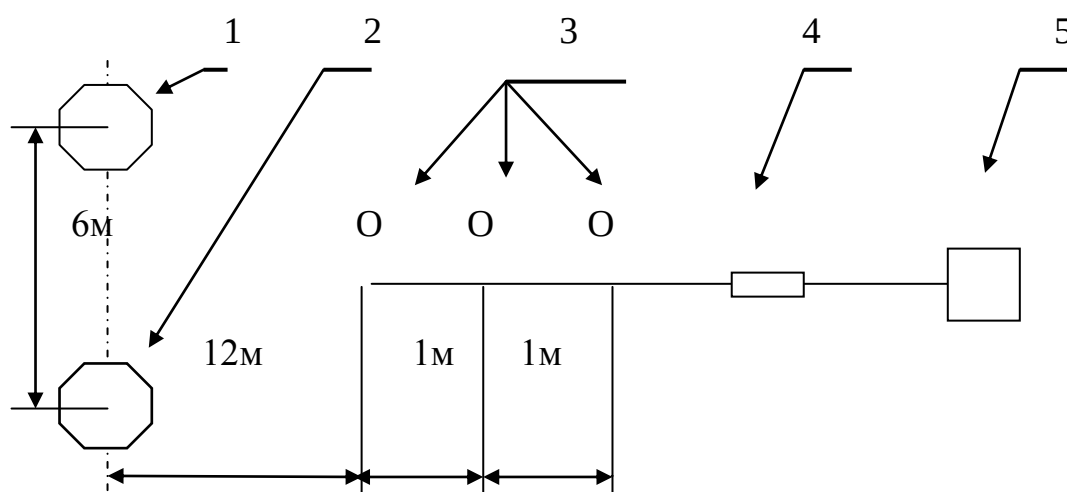


Рисунок 2.4 – Схема опытового поля:

1 – заряд геляпора, 2 – заряд граммонита, 3 – датчики давления ДСЛТ-6, 4 – выносные предусилители-цифровой регистратор

Результаты измерений параметров ВУВ представлены в таблице 2.5, эпюры записей – на рис. 2.5

Таблица 2.5 – Результаты измерений параметров ВУВ

Расстояние от центра взрыва, м	Гельпор				граммонит			
	ΔP_f , кг/см ²	t_f , мс	τ_+ , мс	J_+ , кгс/см ²	ΔP_f , кг/с м ²	t_f , мс	τ_+ , мс	J_+ , кгс/см ²
12	0,7	15,1	3,0	$0,78 \cdot 10^{-3}$	0,55	16,7	2,5	$0,75 \cdot 10^{-3}$
13	0,62	17,5	2,5	$0,68 \cdot 10^{-3}$	0,68	18,7		
14	0,51	20,15	1,1	$0,28 \cdot 10^{-3}$	0,52	21,7	2,4	$0,57 \cdot 10^{-3}$

На рисунке 2.6 представлены экспериментальные точки и расчетные зависимости избыточного давления от расстояния. Расчет проводился для заряда тротила массой 40 кг в условиях стандартной атмосферы по формулам М.А.Садовского из работы [92], для идеальной подстилающей поверхности ($\eta = 1$) и для сыпучих грунтов ($\eta = 0,5$).

На рисунке 2.7 представлены годографы ударных волн от взрывов зарядов геляпора и граммонита. Анализ годографов позволяет выявить две характерные особенности геляпора.

Первой особенностью является то, что время прихода ударной волны от взрыва геляпора в точки измерения значительно меньше, чем от граммонита, и это при том, что энергия взрывчатого превращения геляпора на 10-15% ниже энергии взрывчатого превращения граммонита. Прямолинейная экстраполяция асимптоты геляпора на ординату «0» взрыва, отсекает условный начальный радиус $R_{гп}$ примерно на 10% больший, чем у граммонита $R_{гр}$, а по объему условной полусферы, характеризующей работоспособность ВВ на начальном этапе, эта разница составит примерно 30%.

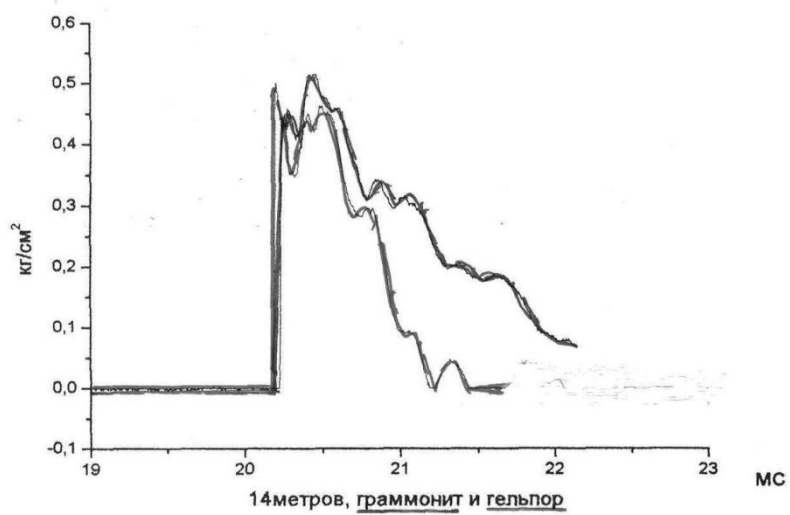
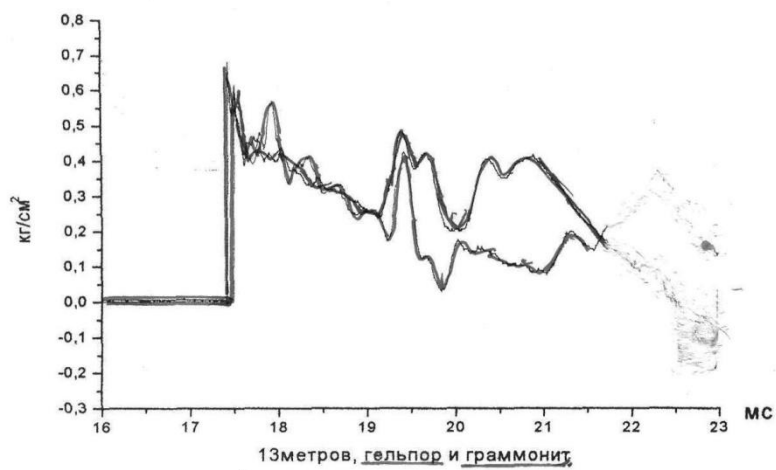
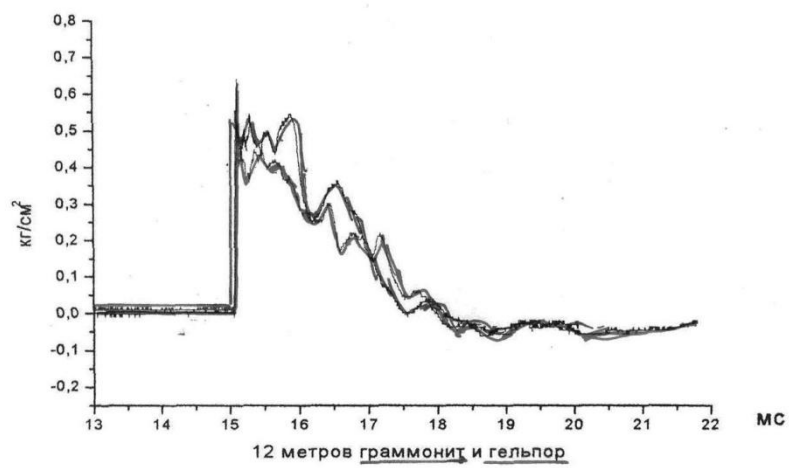


Рисунок 2.5 – Эпюры воздушной ударной волны

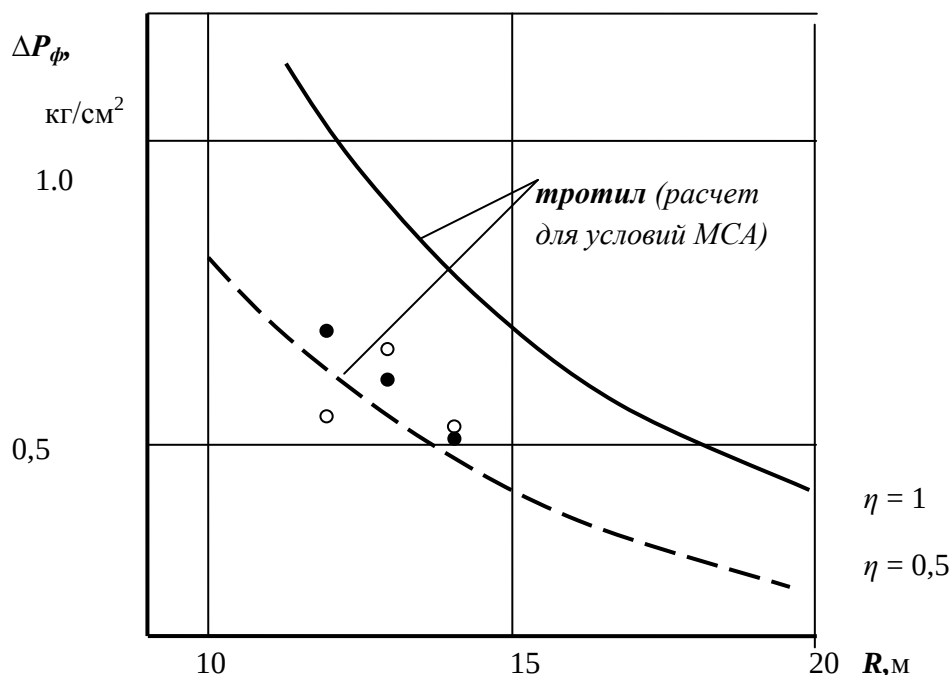


Рисунок 2.6 – Зависимость $\Delta P_\phi = f(R)$: ● – гелепор; ○ – граммонит.

Вторая особенность заключается в более раннем выходе годографа гелепора по сравнению с годографом граммонита на асимптоту звуковой скорости.

Из этих особенностей можно сделать вывод о более высокой, по сравнению с типовыми ВВ, условной работоспособности гелепора в ближней зоне взрыва и более низкой в дальней.

Характер изменения длительности фазы сжатия от расстояния показан на рисунке 2.8. На этом же рисунке представлена расчетная зависимость $\tau_+ = f(R)$ для взрыва заряда тротила массой 40 кг.

Необходимо отметить, что измеренные значения длительностей фазы сжатия τ_+ и для гелепора и для граммонита примерно в 2 раза меньше расчетных. Примечательно то, что длительность фазы сжатия при взрыве гелепора с увеличением расстояния уменьшается вопреки классической теории взрыва [92,93].

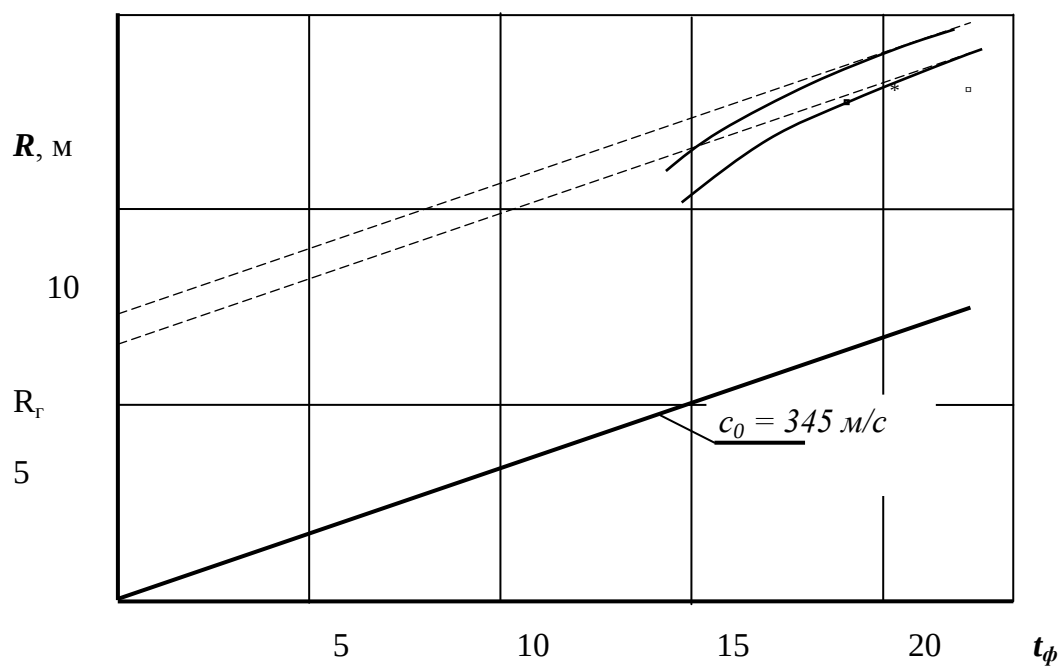


Рисунок 2.7 – Годографы ударных волн: * – гельпор; □ – граммонит

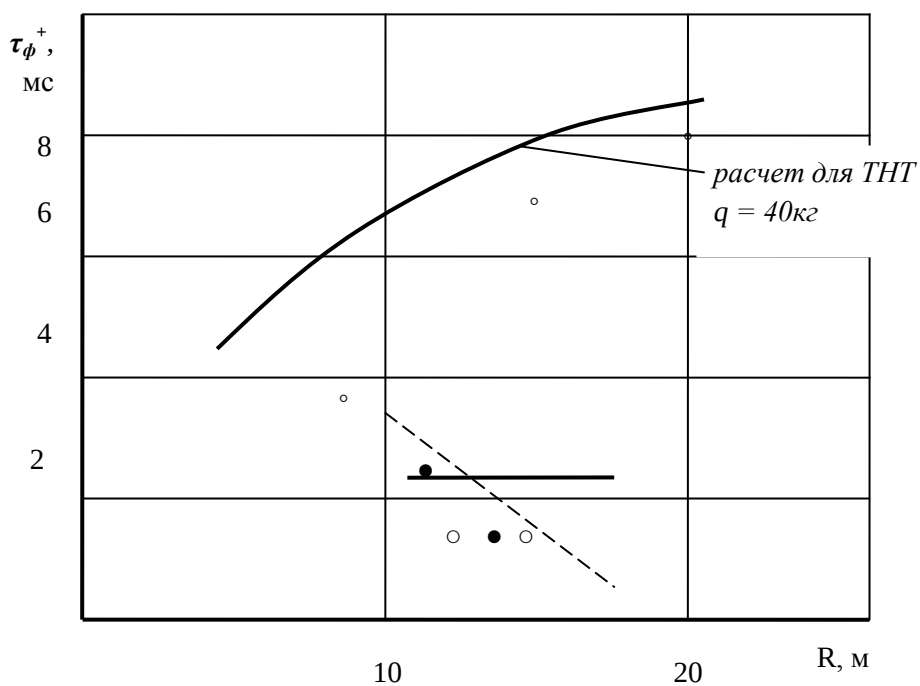


Рисунок 2.8 – Зависимость τ_+ от расстояния: ○ – граммонит; ● – гельпор.

Одновременное более интенсивное снижение избыточного давления и длительности фазы сжатия при взрывах зарядов геляпора по сравнению с взрывами зарядов эталонного ВВ приводит к еще более интенсивному снижению импульса воздействия. Расчетные значения соотношения импульсов ударных волн обоих типов ВВ представлены в табл. 2.6.

Таблица 2.6. Соотношение импульсных ударных волн.

Расстояние, м	12	13	14	20 расчет
Импульс граммонита, МПа×с	0,075	0,082	0,057	0,016
Импульс геляпора, МПа×с	0,083	0,068	0,028	0,004
Соотношение импульсов	0,9	1,2	2,0	4,0

Такое изменение соотношения импульсов давления, во-первых, подтверждается ощущениями специалистов и, во-вторых, позволяет рекомендовать гелевые ПВВ для использования в тех специальных взрывных работах, где есть ограничения по акустическому воздействию.

2.3.2 Сравнительные испытания гелевых ПВВ в воде

Объектом настоящих экспериментальных исследований являлись:

- заряды с повышенной объемной концентрацией энергии на основе геляпора ГП-2У и ГП-2ДП массой от 0,8 до 2 кг, упакованные в полиэтиленовые оболочки, в количестве 10 шт.;
- заряды ПДГВ (промежуточные детонаторы гексогеносодержащие водонаполненные) массой 1 кг, в количестве 24 шт.

В качестве эталонных зарядов, с которыми проводилось сравнение, использовались заряды Ш-0,8 (сферические заряды массой 0,8 кг ТНТ).

Эксперименты проводились в прибрежной части акватории Ладожского озера в два этапа.

Первый этап исследований имел своей целью провести оценку местного действия взрывов зарядов на основе геляпора при подрыве их на

сплошном гранитном массиве под водой, а также проверку эффективности взрывания под водой гранитных отдельностей зарядами на основе геляпора. Опыты проводились при температуре воды $t_0=12^0\text{C}$ и атмосферном давлении $P_0=745\pm 5$ мм.рт.ст. Подстилающая (донная) поверхность сложена гранитами X-XI категории крепости по СНИП-IV-5-82, характеризующимися коэффициентом крепости по шкале М.М. Протоdjяконова $f=15-20$.

Целью *второго этапа* было получение экспериментальных данных о параметрах полей давления в воде при сравнительных взрывах зарядов на основе геляпора и эталонного заряда тротила. Схема проведения экспериментов представлена на рисунке 2.9. Измерения параметров гидроударной волны проводились согласно «Методике...» [71]. Методика обеспечивает получение результатов измерения параметров в заданном амплитудно-частотном диапазоне ударных давлений с погрешностью не хуже $\pm 20\%$ при доверительной вероятности 0,95.

Всего в ходе проведения экспериментальных работ было проведено 12 опытов. Общий объем работ, и характеристика каждого опыта отображены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Характеристика опытов

№ опыта	№ этапа	Тип ВВ	Масса заряда, кг	Тротиловый эквивалент, кг
1	1	ГП	2	1,76
2	1	ПДГВ	2	2,18
3	1	ГП	2	1,76
4	1	ГП	4	3,52
5	1	ПДГВ	4	4,36
6	2	ТНТ	0,8	0,8
7	2	ГП	1,0	0,88
8	2	ПДГВ	1,0	1,09
9	2	ГП	0,95	0,84
10	2	ТНТ	0,8	0,8
11	2	ГП	1,25	1,1
12	2	ГП	4,0	3,6

Датчики давления при проведении экспериментов размещались в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.9. В качестве датчиков давления использовались сульфат литиевые пьезоэлектрические датчики типа ДСЛ-20-6 [71].

Взрывную нагрузку при взрыве в воде принято характеризовать давлением на фронте ΔP_ϕ , длительностью положительной фазы τ_+ и удельным импульсом фазы сжатия.

Для той части пространства, где не сказывается влияние дна водоема и свободной поверхности, изменение давления во времени t в фиксированной точке пространства имеет вид [49,93] :

$$P(t) = \Delta P_\phi \exp(-t/\theta), \quad (2.3)$$

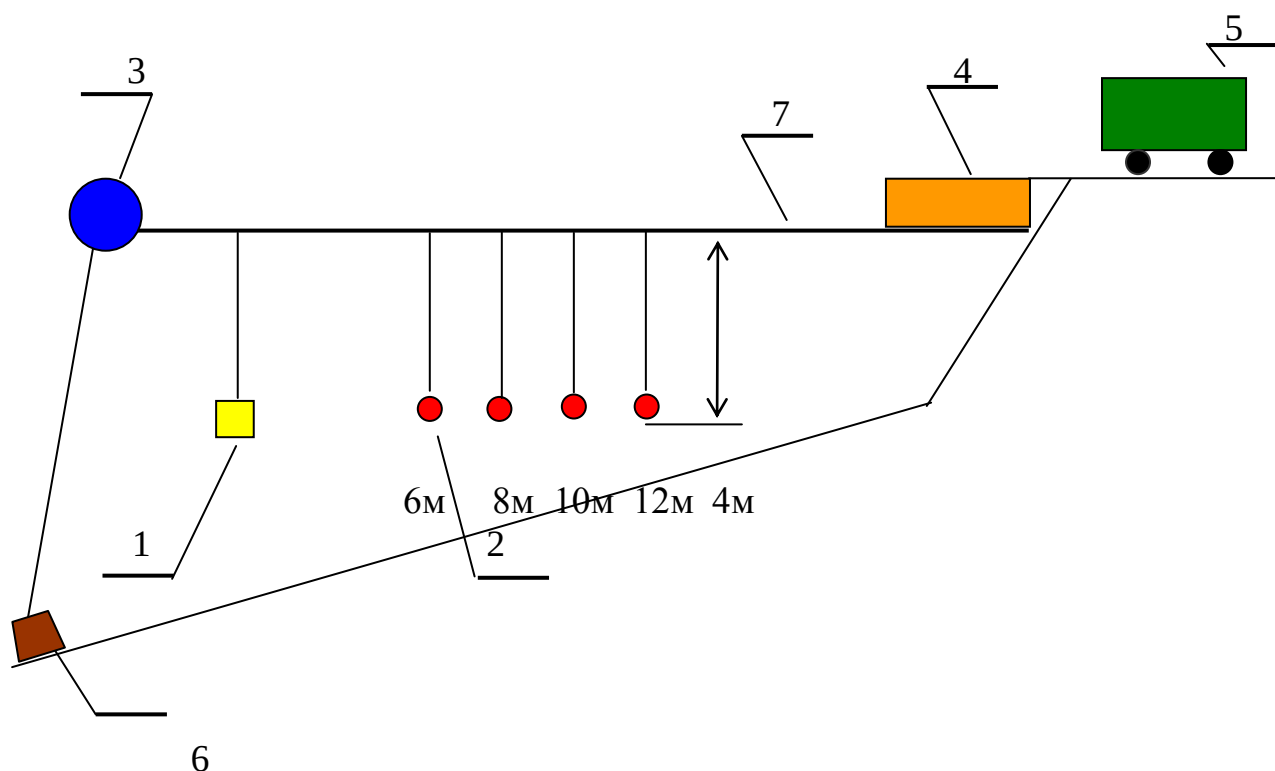


Рисунок 2.9 – Схема проведения опытов на ТП-1:

1 - заряд ВВ; 2 - датчики давления, 3 – бочка; 4 – пирс; 5 - измерительный пункт; 6– якорь; 7 - кабель-трос

в которой величина θ , называемая постоянной времени, для сферического заряда определяется по формуле [93]:

$$\frac{a_0 \cdot \theta}{q^{\frac{1}{3}}} = 0,07(\bar{R})^{0,24}, \quad (2.4)$$

где a_0 , - скорость звука в воде, м/с;

$\bar{R} = R/q^{\frac{1}{3}}$ - приведенное расстояние;

R - расстояние от центра взрыва, м;

q - тротиловый эквивалент взрыва, кг.

Значения ΔP_ϕ и τ_+ , измеренные в опытах №№ 6 – 11 представлены в таблице 2.8, эпюры записей на рисунке 2.10. После проведения опыта проводился замер параметров воронок.

Таблица 2.8 – Параметры гидроударных волн

Тип ВВ	Номер опыта	ΔP_ϕ , кг/см ²				τ_+ , мс			
		Расстояние, м				Расстояние, м			
		6	8	10	12	6	8	10	12
ТНТ	6	60	44	37	-	1,1	1,4	1,0	-
ТНТ	10	-	-	-	34	-	-	-	0,8
Гельпор	7	-	-	-	30	-	-	-	0,7
Гельпор	11	46	37	-	33	0,8	1,1	-	0,9
ПДГВ	8	48	44	-	33	1,1	1,4	-	0,9

На рисунке 2.11 представлены экспериментальные точки в сравнении с зависимостью избыточного давления от расстояния по Р. Коулу [57]. Из графика хорошо видно, что в диапазоне расстояний $5 < \bar{R} < 10$, избыточное давление от взрывов зарядов геляпора и ПДГВ значительно ниже, чем от взрыва заряда ТНТ.

На расстояниях $\bar{R} > 10$ все точки хорошо согласуются с эталонной зависимостью Р. Коула, полученной для тротила. «Нефизичное» отклонение точек геляпора и ПДГВ следует объяснять только особенностями их энерговыделения, поскольку все другие условия были строго идентичны.

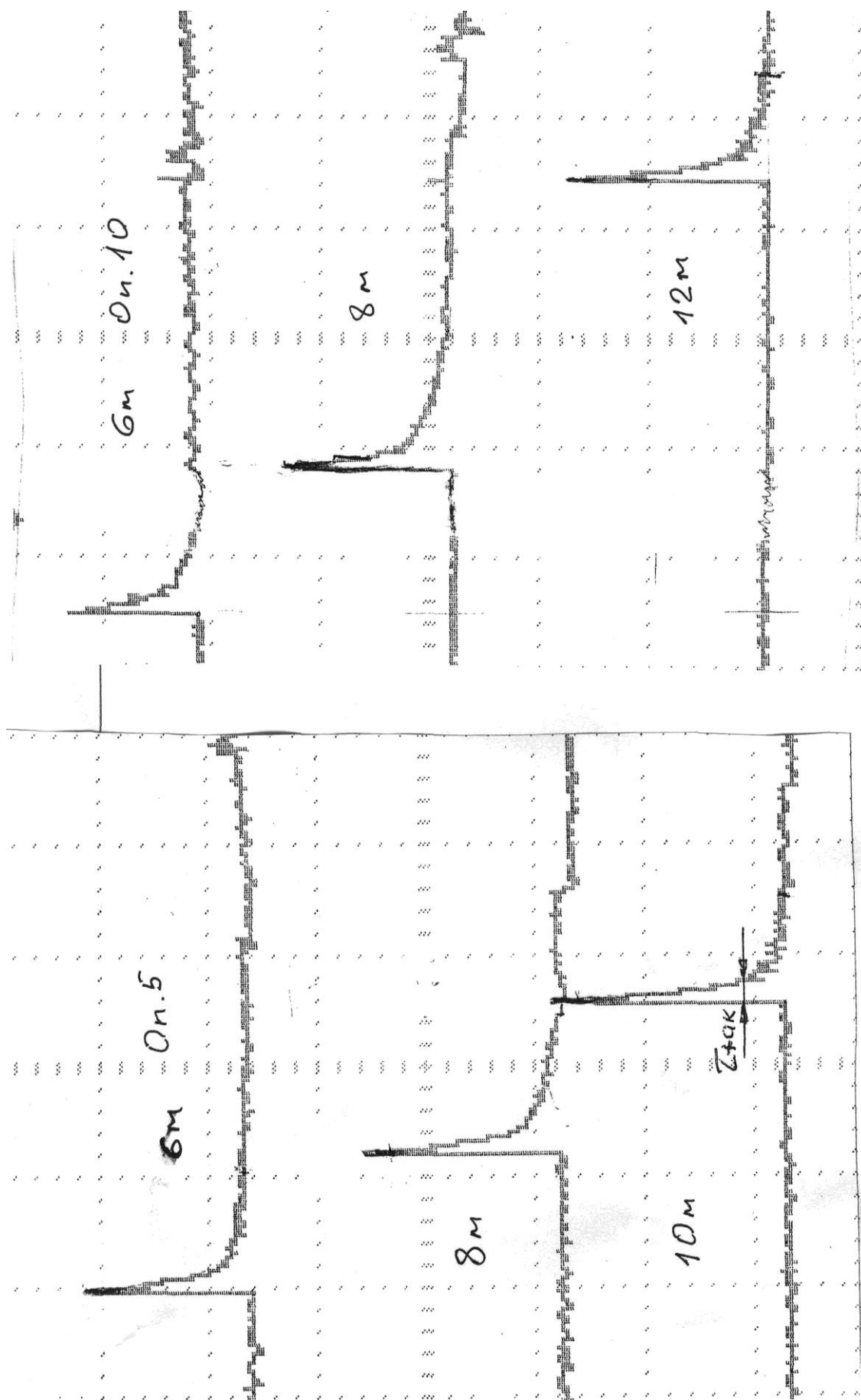


Рисунок 2.10 - Эпюры гидроударной волны

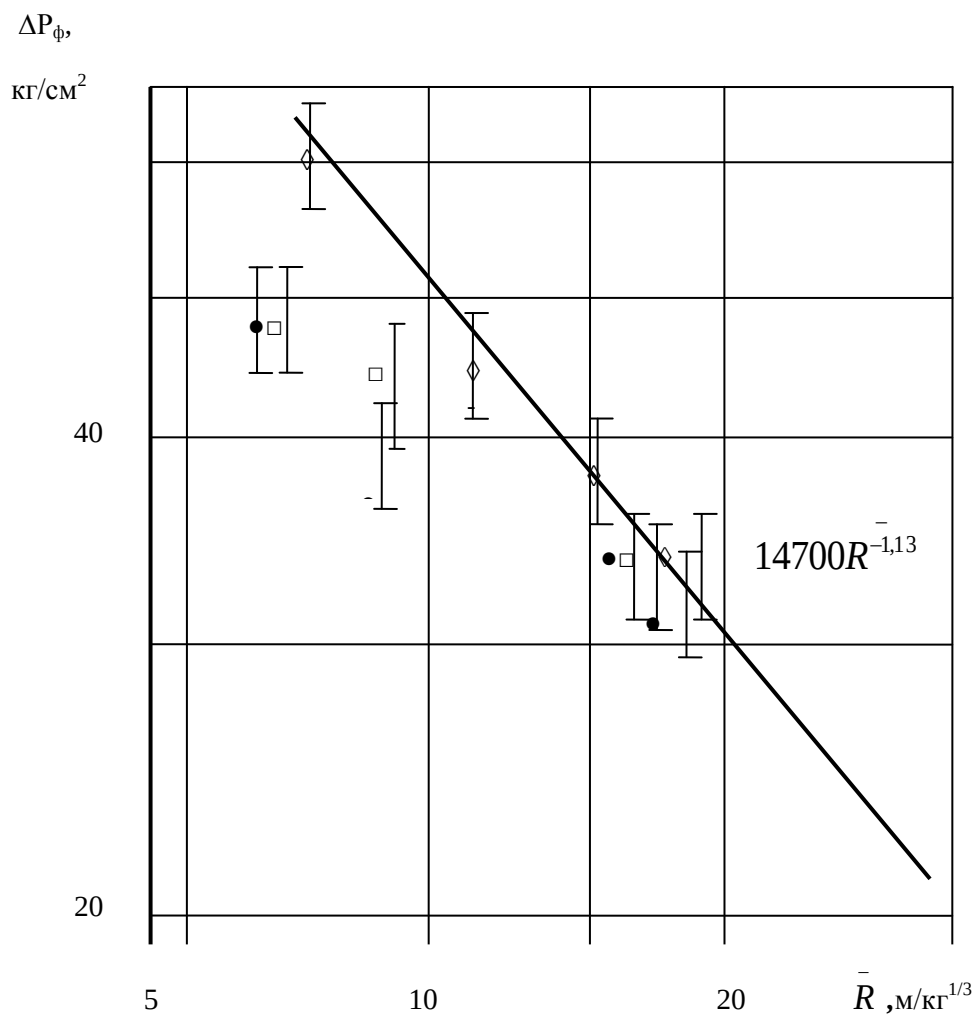


Рисунок 2.11 – Зависимость избыточного давления во фронте ПУВ от приведенного расстояния: $\square$ – ПДГВ; $\diamond$ – TNT; $\bullet$ – ГП.

Зависимость длительности положительной фазы τ_+ от расстояния $\bar{R}$ представлена на рисунке 2.12.

Необходимо отметить, что по данным, приведенным в работах [49,57,93] для неограниченной среды, значение τ_+ лежит в пределах:

$$5\theta < \tau_+ < 10\theta.$$

Из графика видно, что на отметках 6,8 и 10 м ($\bar{R} < 10$) полученные в экспериментах значения τ_+ укладываются в этот расчетный «коридор».

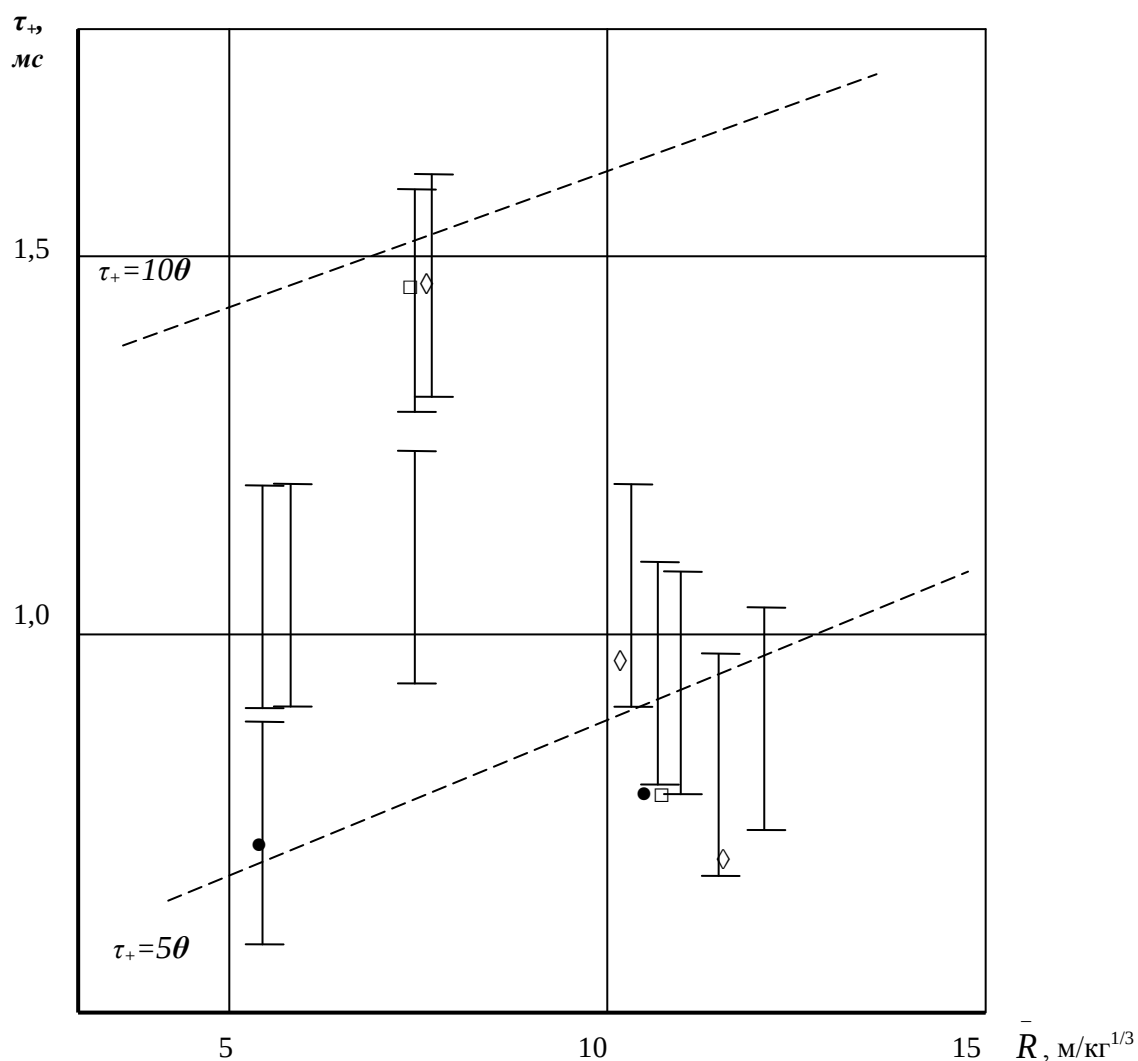


Рисунок 2.12 – Зависимость длительности фазы сжатия ПУВ от приведенного расстояния: $\square$ – ПДГВ; $\diamond$ – ТНТ; $\bullet$ – ГП.

На отметке 12 м ($\bar{R} > 10$) значения τ_+ во всех опытах ниже расчетных. Это обусловлено тем, что в точку измерения через некоторое время после прихода фронта ударной волны со стороны свободной поверхности подходит волна разрежения и «укорачивает» τ_+ . В акустическом приближении можно считать, что длительность фазы сжатия в этом случае определяется разностью моментов прихода в данную точку фронта ударной волны и фронта волны разрежения.

2.3.3 Сравнительная оценка параметров местного действия

Оценка местного действия взрыва накладного заряда проводилась по параметрам воронок, образовавшихся в грунте. В качестве параметров выступали: радиус воронки ($r_в$), ее глубина ($h_в$) и объем ($V_в$).

Объем воронки определялся по формуле:

$$V_в = \frac{\pi}{2} r_в^2 h_в. \quad (2.5)$$

Измеренные и рассчитанные по формуле (2.5) параметры воронок приведены в таблице 2.9.

Анализ данных таблицы 2.9 свидетельствует о повышенном местном действии на грунт взрыва заряда геляпора по сравнению со взрывом зарядов граммонита и аммонита. Так, объем воронок, образовавшихся в грунте от взрывов зарядов геляпора, в 1,5-2 раза больше объемов воронок, образованных взрывами зарядов граммонита и аммонита (рис.2.13-2.16). На рисунке 2.16 обозначения аналогичные рисунку 2.15.

Оценка местного действия подводного контактного взрыва проводилась по параметрам воронок, образовавшихся в сплошном гранитном массиве, находящимся на глубине ~ 50 см.

Таблица 2.9 – Параметры воронок при контактном взрыве в воздухе

Тип ВВ	Масса заряда, кг	Вид грунта	Параметры воронок		
			$r_в$, м	$h_в$, м	$V_в$, м ³
Гельпор ГП-2У	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 6ЖВ	2	глина	0,37	0,32	0,068

*) Примечание: в месте взрыва заряда, под слоем глины, на глубине 0,15м оказалась скала.



a



б



в



г

Рисунок 2.13 – Характер механического действия взрыва заряда геляпора



а



б

Рисунок 2.14 – Характер местного действия взрыва заряда ТНТ (а) и геляпора ГП-Т (б)

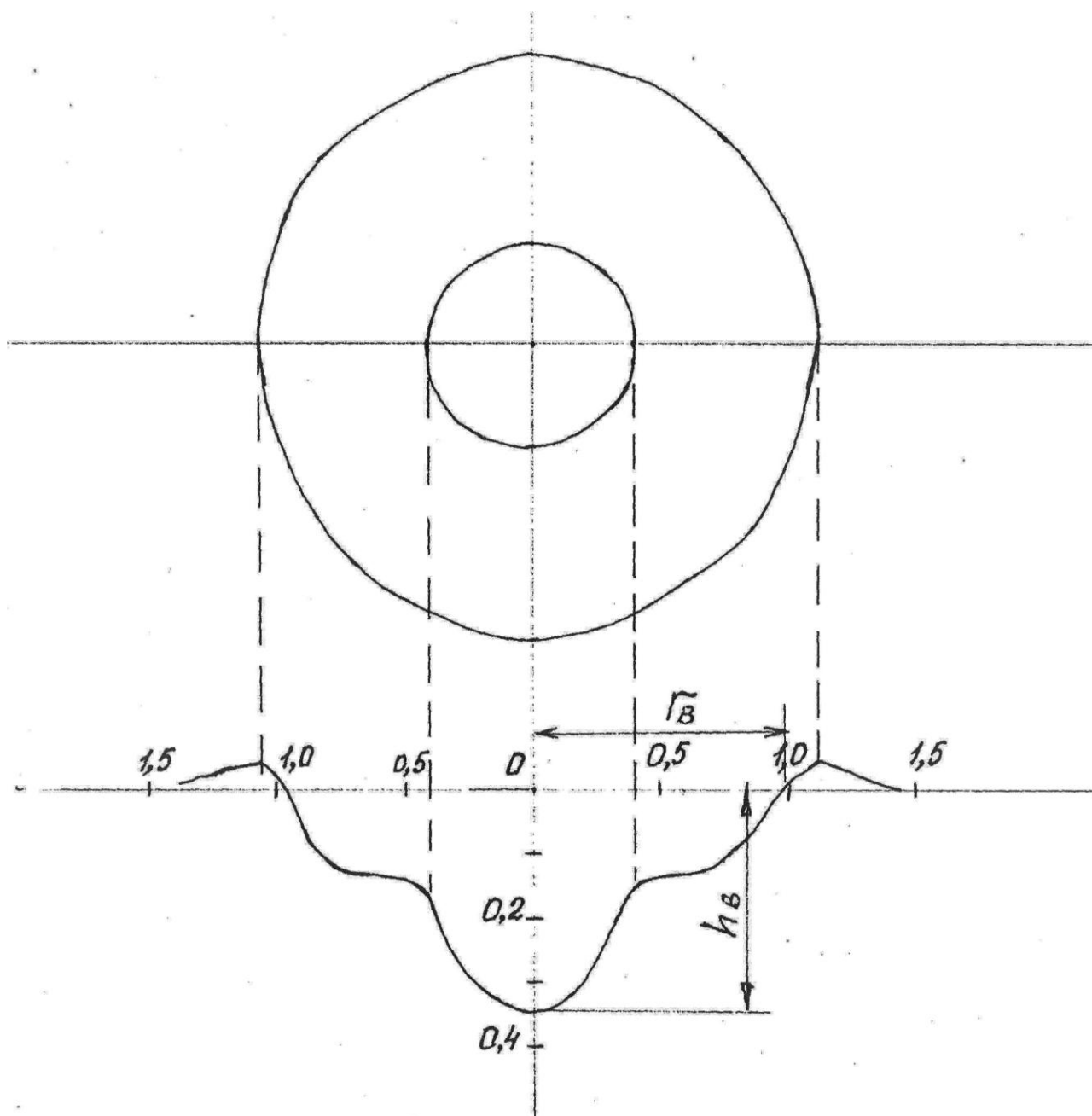


Рисунок 2.15 – Топосхема воронки геля (40 кг)

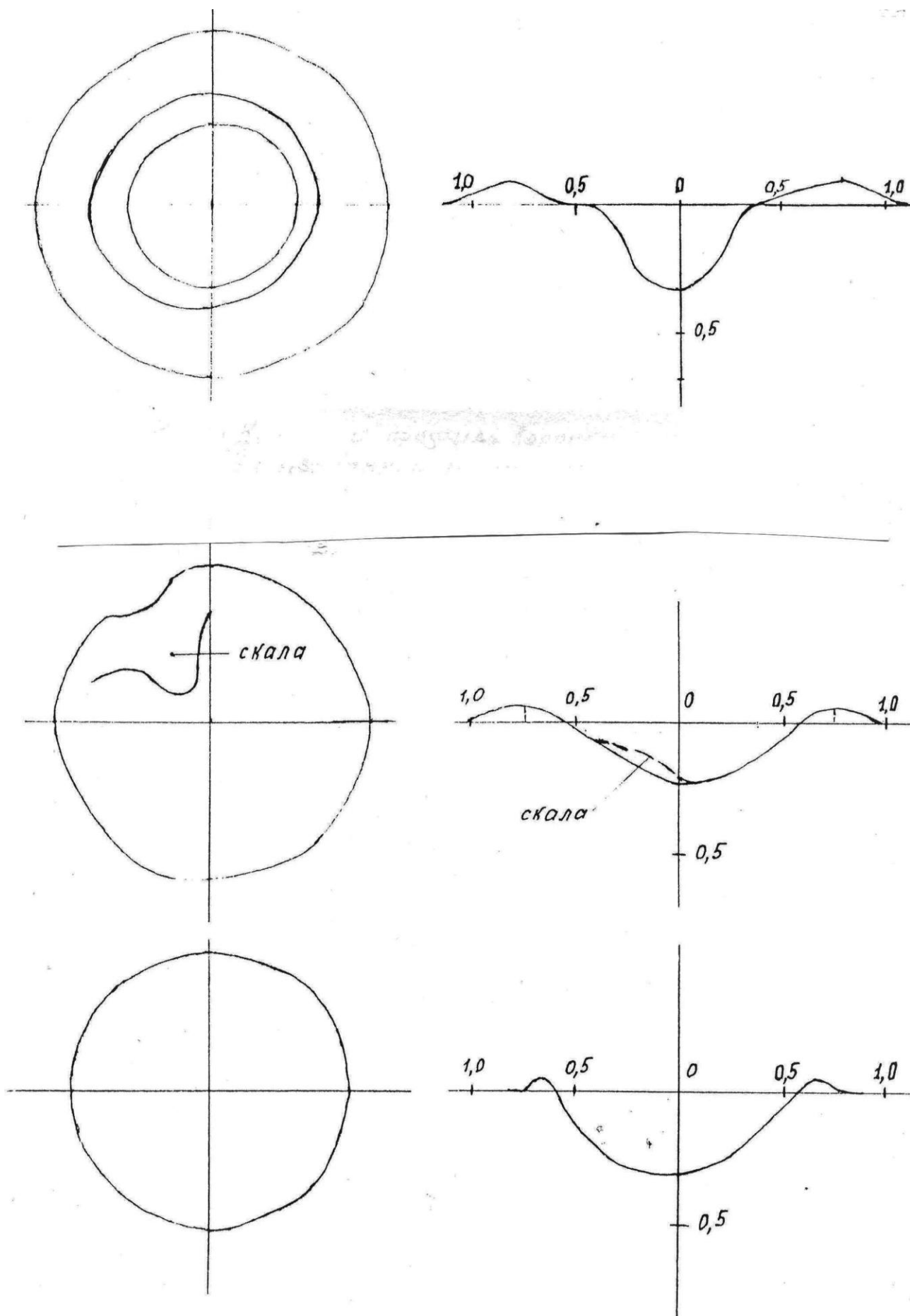


Рисунок 2.16 – Топосхемы воронок геляпора (2 кг)

Объем воронки определялся по формуле (2.5). Параметры воронок приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Параметры воронок при взрыве накладного заряда под водой

Номер опыта	Тип ВВ	Масса заряда, кг	Вид грунта	Параметры воронок		
				$r_в$, м	$h_в$, м	$V_в$, м ³
4	ГП-2ДП	4	гранит	0,45	0,12	0,040
5	ПДГВ	4	гранит	0,35	0,1	0,020
12	ПВВ-4	4	гранит	0,32	0,1	0,016

Вместе с тем отмечено, что параметры воронки взрыва геляпора под водой ~ на 20% превышают расчетные параметры воронки для контактного взрыва тротила в воздухе [1,92,93].

Взрывы зарядов гелевых ПВВ в опытах № 4 и 5 проводились в воде на приведенных глубинах $H/r_{\max} \sim 0,2...0,3$ (где $r_{\max}$ – максимальный радиус взрывной полости), для которых характерно кумулятивное струйное течение [29,49,93], описанное также в работах В.В.Кедринского. [85]. Характер развития струйных течений во времени представлен на рисунке 2.17, а изменение скорости струи во времени – на рисунке 2.18.



Рисунок 2.17 – Характер развития струйных течений

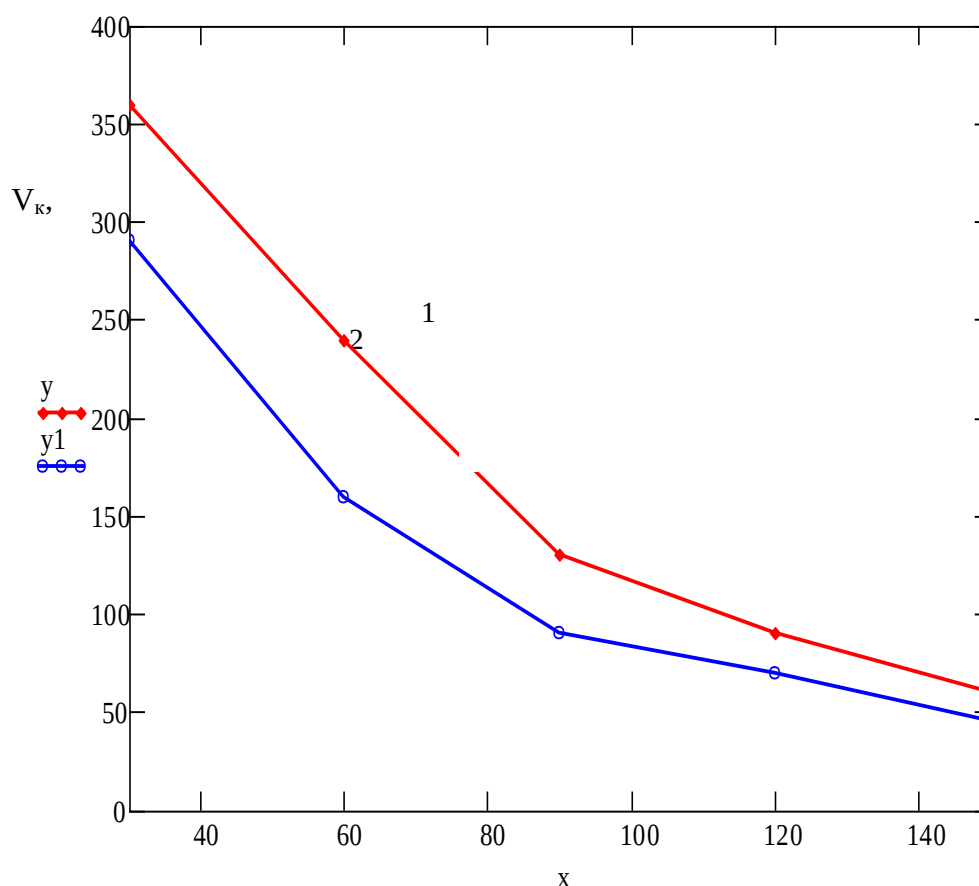


Рисунок 2.18 – Изменение скорости струи во времени:
1 – геляпор; 2 – ПДГВ

2.3.4 Дробление негабарита и разрушение горных пород

Накладные заряды ГП-2ДП поставлялись на испытания в прямоугольных полиэтиленовых пакетах толщиной 25-30 мм и массой 1 кг. Такие заряды хорошо прилегают ко всем неровностям негабаритных отдельных частей. Кроме того, пакеты ГП-2ДП можно перегибать вплоть до углов $45-50^\circ$. Инициирование зарядов проводилось электродетонаторами ЭД-8 [22,91]. В результате испытаний установлено, что детонация зарядов полная, остатков ВВ не обнаружено.

Разделка негабарита показала, что применение накладных зарядов геляпора ГП-2ДП позволяет снизить удельный расход ВВ по сравнению с аммонитом 6-ЖВ (патронированным или в виде порошка) примерно в 2 раза при удовлетворительном качестве дробления. Фактически удельный расход ВВ для зарядов геляпора ГП-2ДП варьируется от $1,0 \text{ кг/м}^3$ до $1,3 \text{ кг/м}^3$ в

зависимости от крепости пород, линейных размеров и объема взрывааемых негабаритных отдельностей. Гельпор, хотя и обладает повышенной мощностью вследствие высокой объемной концентрации энергии, однако скорость выделения энергии у него значительно ниже, чем у аммонита 6-ЖВ. Такой «растянутый» режим воздействия геляпора на горную породу позволяет получить более высокое качество её дробления, выражающееся в том, что размер кусков после дробления получается более крупный, нет переизмельчения камня, уменьшается разброс образовавшихся осколков. С увеличением размера негабарита удельный расход ВВ увеличивается. При разделке негабаритных отдельностей объемом более $3,0\text{ м}^3$ необходимо увеличивать количество зарядов или проводить повторное дробление.

При дроблении негабарита с использованием геляпора ГП-2ДП себестоимость взрывных работ по расходу взрывчатых материалов снижается на 47% по отношению к аммониту 6ЖВ.

Зависимость удельного расхода q ВВ от объема негабарита V представлена на рисунке 2.19. На этом рисунке представлены результаты экспериментов для нескольких блоков массовых взрывов.

Данные зависимости скорректированы с учетом перерасхода ВВ на малых объемах (до 1 м^3) и необходимости повторного дробления при больших объемах негабарита (свыше 4 м^3). Указанные зависимости справедливы в диапазоне объемов от 0,4 до 6 м^3 . Объемы менее $0,4\text{ м}^3$ являются габаритными, а объемы более 6 м^3 практически не встречаются.

Увеличение удельного расхода ВВ с ростом объема негабарита физически закономерно. Это обусловлено непропорциональным, относительно подобия, увеличением времени нарастания скорости с расстоянием и, соответственно, уменьшением скорости деформации грунта [48].

Помимо карьеров ОАО «Гранит-Кузнечное» дополнительно проведены сравнительные эксперименты по вторичному дроблению крупных блоков на карьере ОАО «КНИ-436» [13,41].

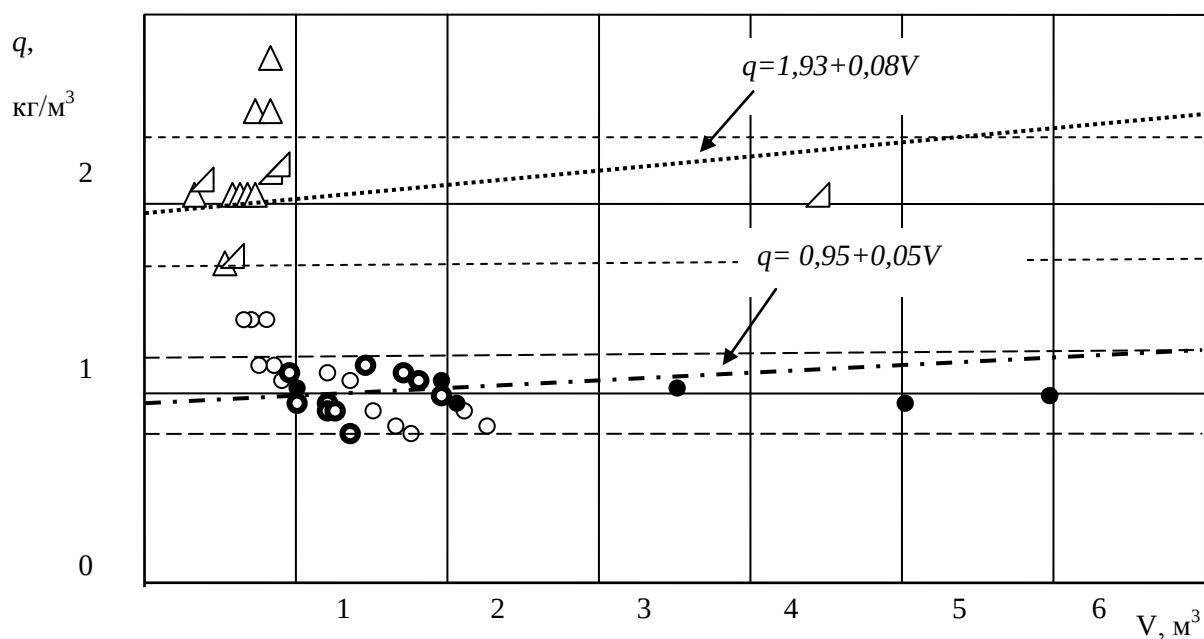


Рисунок 2.19 – График зависимости удельного расхода ВВ от объема негабарита - ●●○ - геляпор, $\triangle\triangle$ - аммонит 6 - ЖВ

Результаты экспериментов представлены в табл. 2.12 и графически на рис. 2.20, также для различных блоков массовых взрывов.

Корректность оценки эффективности геляпора обеспечена одновременным использованием аммонита 6ЖВ. В табл. 2.12 представлен усредненный удельный расход для номенклатурного ряда накладных зарядов в зависимости от объема негабаритного блока.

Таблица 2.12 Удельный расход геляпора

Объем блока, м ³	Доля блоков	Удельный расход для массы заряда, кг		
		0,5	1,0	1,5
До 0,1	0,52	1,2	1,3	1,5
1,0 ... 1,5	0,16	1,15	1,2	1,4
1,5 ... 3,0	0,12	1,1	1,1	1,2
Более 3,0	0,20	0,9	0,9	1,0
Весь объем	1,0	1,1	1,17	1,5

На графике (рис. 2.20) отчетливо можно выделить два участка. На первом участке (до $1,5 \text{ м}^3$) удельный расход q резко снижается, на втором (объем до 6 м^3) – наблюдается незначительный, но заметный рост.

Уменьшение q с ростом объема негабарита V на первом участке имеет «практический» смысл, связанный с дискретностью масс патронов ПВВ.

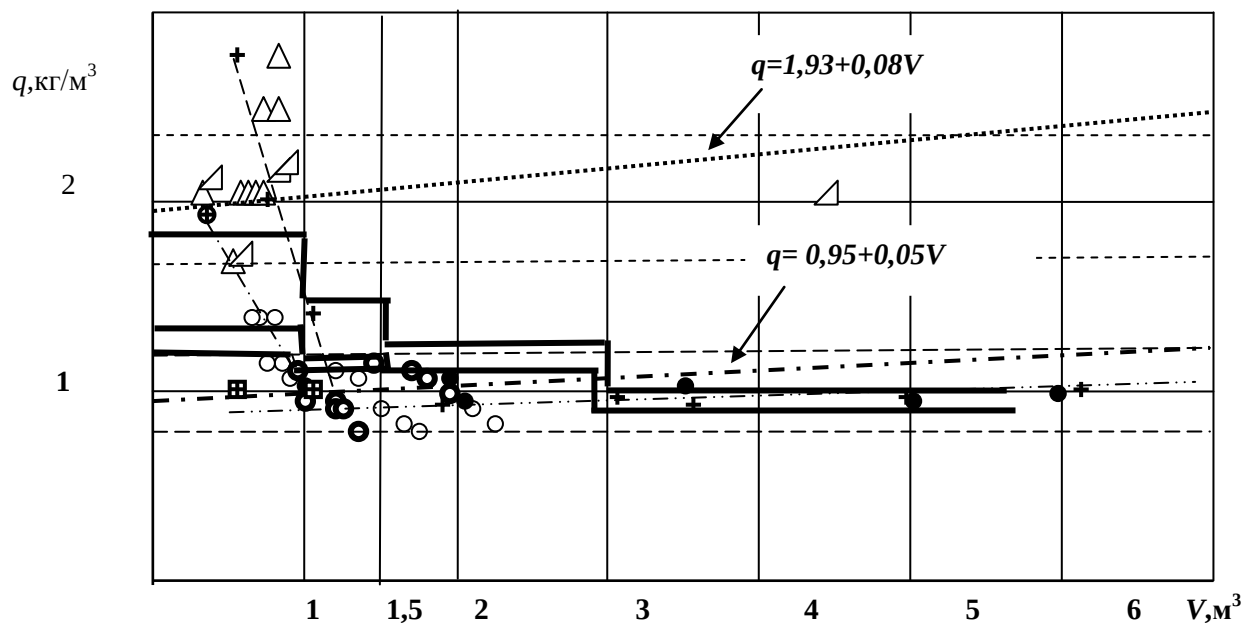


Рисунок 2.20 – График зависимости удельного расхода ВВ от объема негабарита:

- геляпор ГП – 2ДП $\triangle \triangle$ – аммонит 6ЖВ (карьер Гранит-Кузнечное)
- +■● геляпор ГП – Т (карьер КНИ-436)

Ступенчатая аппроксимация зависимости $q=f(v)$ для геляпора более удобна для практических оценок.

Аналогичный характер носит зависимость $q=f(v)$ и для аммонита: при объемах до 1 м^3 удельный расход более $2,5 \text{ кг/м}^3$, при объемах негабарита $3 \dots 5 \text{ м}^3$ – $2,1 \text{ кг/м}^3$.

«Физический» смысл удельного расхода раскрывает зависимость $q=f(v)$ для условий минимальной массы заряда.

И для гранитов ОАО «Гранит-Кузнечное», и для гранитов «КНИ-436» наблюдается устойчивая тенденция «увеличения» удельного расхода с ростом объема блока.

Такой, хоть и незначительный, рост q можно объяснить более высоким значением ускорения (скорости нарастания напряжения деформации) для малых зарядов на равных приведенных расстояниях.

Оценочно относительное изменение ускорения q в зависимости от размера блока представлено в табл. 2.13 [1,48].

Таблица 2.13. Параметры механического действия взрыва

Объем блока, м ³	Условная грань, м	Масса заряда ВВ, кг	Приведенное расстояние, м/кг ^{1/3}	Время нарастания, мкс	Относительное ускорение
0,5	0,8	1	1,0	8	1,25
1,0	1,0	2	1,0	10	1,0
8,0	2,0	16	1,0	20	0,5

В карьере ОАО «КНИ-436» проведено хронометрирование взрывоподготовки. Размещение на 30 ... 50 блоках негабарита зарядов из аммонита и установка детонаторов проводилась за 2,0 ... 2,5 часа, а с использованием пакетированных зарядов геляпора – за 20 ... 30 минут. Это обусловлено простотой размещения зарядов геляпора на поверхности негабарита и значительно меньшей общей массой ВВ (300 ... 400 кг аммонита или 200 ... 250 кг геляпора).

Аналогично прогнозируется, что в условиях подземных рудников, где минимальный размер негабарита меньше, чем в открытом карьере, необходимо иметь заряды геляпора 0,2 ... 0,25 кг.

При шпуровой разделке негабарита геляпор можно использовать методом налива. [24]. В этом случае дополнительно уменьшается до 5 раз объем буровых работ за счет повышенной плотности геляпора и исключения зазора между патроном ПВВ и стенкой шпура. По результатам испытаний геляпора сформулированы следующие рекомендации:

- при планировании взрывных работ по разделке негабарита удельный расход уменьшать до 2 раз, а время взрывоподготовки уменьшать до 5 раз;
- заводам – изготовителям производить патроны минимальной массой до 0,5 кг для открытых работ и массой до 0,2 кг для рудников;
- применять гелъпор методом налива при шпуровой разделке.

Предварительные испытания ПВВ марки ГП-2У на гранитном карьере в скважинах диаметром 250 мм со 100 % обводненностью показали, что гелъпор дает хорошее дробление и проработку подошвы уступа, переизмельчение отсутствует [41,46]. Выход негабарита из верхней части скважины снизился с 30-40% при использовании гранипора ФМ с граммонитом 79/21, до 3-4% при использовании гелъпора. Сравнение эффективности дробления гранитов гранипором ФМ и гелъпором ГП-2У представлено на рисунке 2.21.

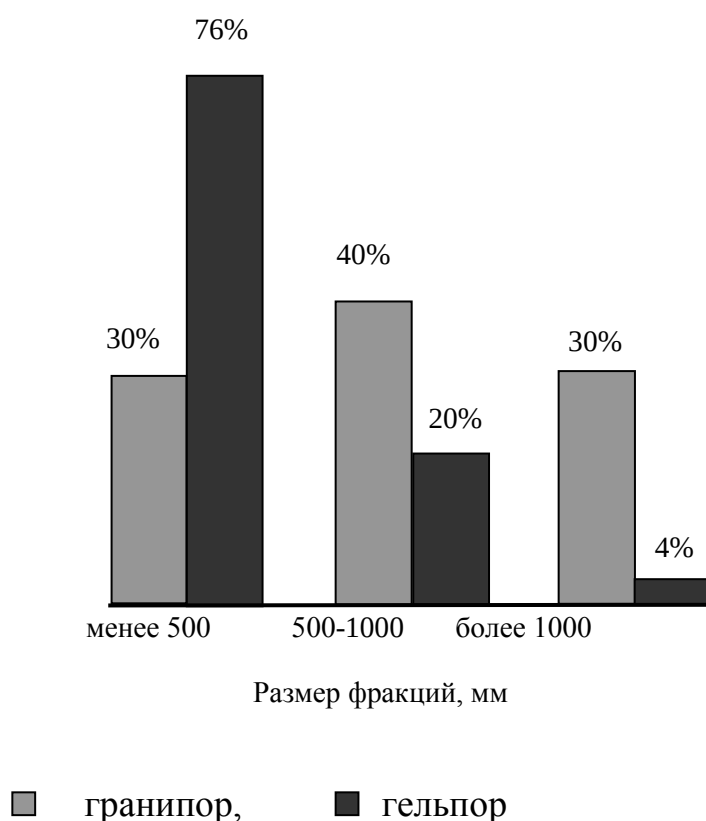


Рисунок 2.21 – Распределение гранулометрического состава взорванной горной массы в зависимости от типа используемого ВВ

Аналогичный результат получен и при использовании геляпора ГП-2У в скважинах диаметром 160 мм, тогда как гранипор ФМ с граммонитом 79/21 дали выход негабарита 50-70%.

Особенности взрывов зарядов гелевых ПВВ отражаются и на гранулометрическом составе взорванной породы. На рисунке 2.22 представлена кумулятивная кривая грансостава горной массы после взрыва традиционных [28] и гелевых ПВВ в одинаковых условиях.

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.

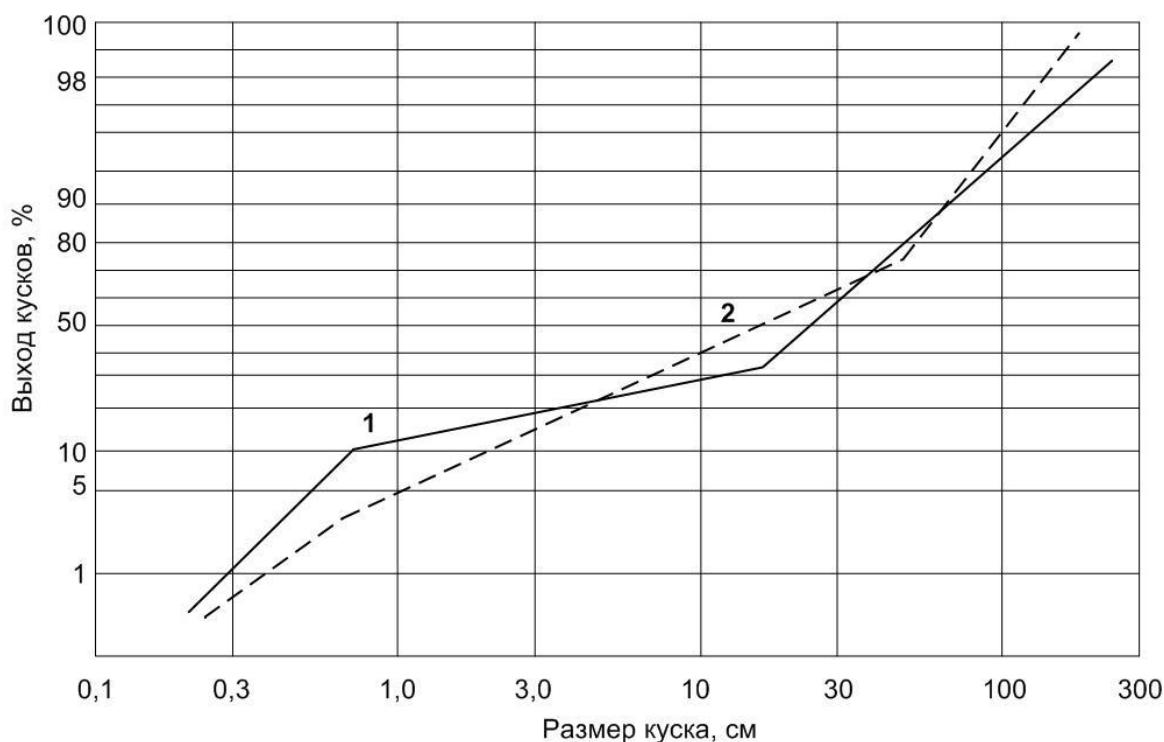


Рисунок 2.22 – Гранулометрический состав горной массы после взрыва:
1 – скважинными зарядами с использованием традиционных ПВВ;
2 – скважинными зарядами с использованием гелевых ПВВ.

Дополнительно при проведении массовых взрывов в карьерах ОАО «Гранит-Кузнечное» проведены измерения по разлету камней взорванной породы. Основная масса камней при взрыве зарядов граммонита разлетелась до 250...300 м., а при взрыве зарядов геляпора – до 150м. Корректность

сравнения обеспечивалась заряданием одной части блока граммонитом (~ 80 скважин), а второй части – гелпором (~ 60 скважин).

При этих массовых взрывах проводилась видеосъемка процесса разлета взорванной породы. Характер разлета хорошо был виден на дневной поверхности покрытой свежим снегом, что значительно улучшало видимость общей картины и позволяло достаточно точно определить радиусы разлета камней породы как в сторону сброса, так и в противоположную сторону.

Эксперимент по оценке эффективности дробления под водой проводился на гранитном валунном камне объемом $\sim 1 \text{ м}^3$, находящимся на глубине $\sim 30 \text{ см}$.

Исходя из рекомендаций, изложенных в РПР-69 [91], была выбрана масса заряда ВВ, равная 2 кг. Всего проведено 3 опыта.

В опыте № 1 накладной заряд ГП-2ДП массой 2 кг был установлен на валунном камне в 10 см от его центра. В результате взрыва заряда камень был расколот на две части, объемы которых составляют $\sim 0,4 \text{ м}^3$ и $0,6 \text{ м}^3$.

В опыте № 2 заряд ПДГВ массой 2 кг, был установлен на глубине $\sim 1 \text{ м}$ под вышеуказанным валунным камнем.

Взрывом заряда меньший осколок камня отброшен на расстояние $\sim 1,5 \text{ м}$.

В опыте № 3 накладной заряд ГП-2У массой 2 кг был установлен на большем осколке валунного камня $\sim$ в 10 см от его центра. Расстояние от центра заряда до свободной поверхности составляло $\sim 50 \text{ см}$. В результате взрыва заряда камень был расколот на три части.

На основании проведенных опытов по разделке негабарита под водой следует отметить, что удельный расход ВВ зарядами гелпора, близок к удельному расходу, установленному при дроблении негабарита наружными зарядами гелпора в карьерах ОАО «Гранит-Кузнечное» [34].

2.3.5. Фрагментация конструкций инженерных сооружений

Исследования механического действия взрывов зарядов геляпора ГП-2 на конструкции инженерных сооружений проводились в сравнении с действием зарядов ТНТ. Условия опытов представлены в таблице 2.14.

Во всех опытах проводилась видеосъемка процессов развития взрыва и измерение параметров местного действия.[34,40].

На видеокадрах рис. 2.23 видно внешнее различие между взрывами зарядов тротила и геляпора, подрываемых на бетонной подстилающей поверхности: светящееся облако – взрыв тротила, темное – геляпора. При взрыве в песке на глубине 0,2 м заметного отличия между ними не наблюдается – рис.2.23. Дополнительно следует отметить, что в этих экспериментах использовался геляпор после трех лет хранения. Анализ результатов указывает на наличие эффекта «старения»[40].

Таблица 2.14 – Условия экспериментов

№ п/п	Материал	Тип ВВ	Масса заряда, кг	Результаты	Примечание
1	Бетон	ТНТ ГП-2	1кг 1кг	$h_b=0,12\text{м}$, $\varnothing 0,45\text{м}$ $h_b=0,09\text{м}$, $\varnothing 0,5\text{м}$	
2	Железобетон	ТНТ ГП-2	1кг 1кг	разрушен разрушен	
3	Сталь Ст.3 (двутавр № 14)	ТНТ ГП-2	1кг 1кг	разрушен разрушен	
4	Дерево $\varnothing 0,2\text{м}$	ТНТ ГП-2	1кг 1кг	перебито перебито	$q_p=0,7\text{кг}$
5	Дерево $\varnothing 0,6\text{м}$	ТНТ ГП-2	2кг 2кг	не перебито перебито	$q_p=3,5\text{кг}$

В графе примечание указаны расчетные значения по РПР-69 [91].

Вторая особенность заключается в том, что при взрыве ГП-2 на бетонном основании, в воронке выброса и рядом с ней остается до 70% фрагментов (рис. 2.24, 2.25). Аналогичный эффект наблюдается и при разделке гранитного негабарита. Эта особенность может быть использована

при необходимости проведения взрывных работ для ликвидации чрезвычайных ситуаций вблизи жилых и промышленных зданий, а также в строительстве.



а



б



в



г

Рисунок 2.23 – Видеограммы взрывов



a



б



в

Рисунок 2.24 – Разрушение металла взрывом заряда геляпора ГП-Т



a



б

Рисунок 2.25 - Разрушение железобетона взрывом заряда геляпора ГП-2

Сравнительные результаты по разлету осколков и камней для различных ВВ и условий взрыва на рис. 2.26.

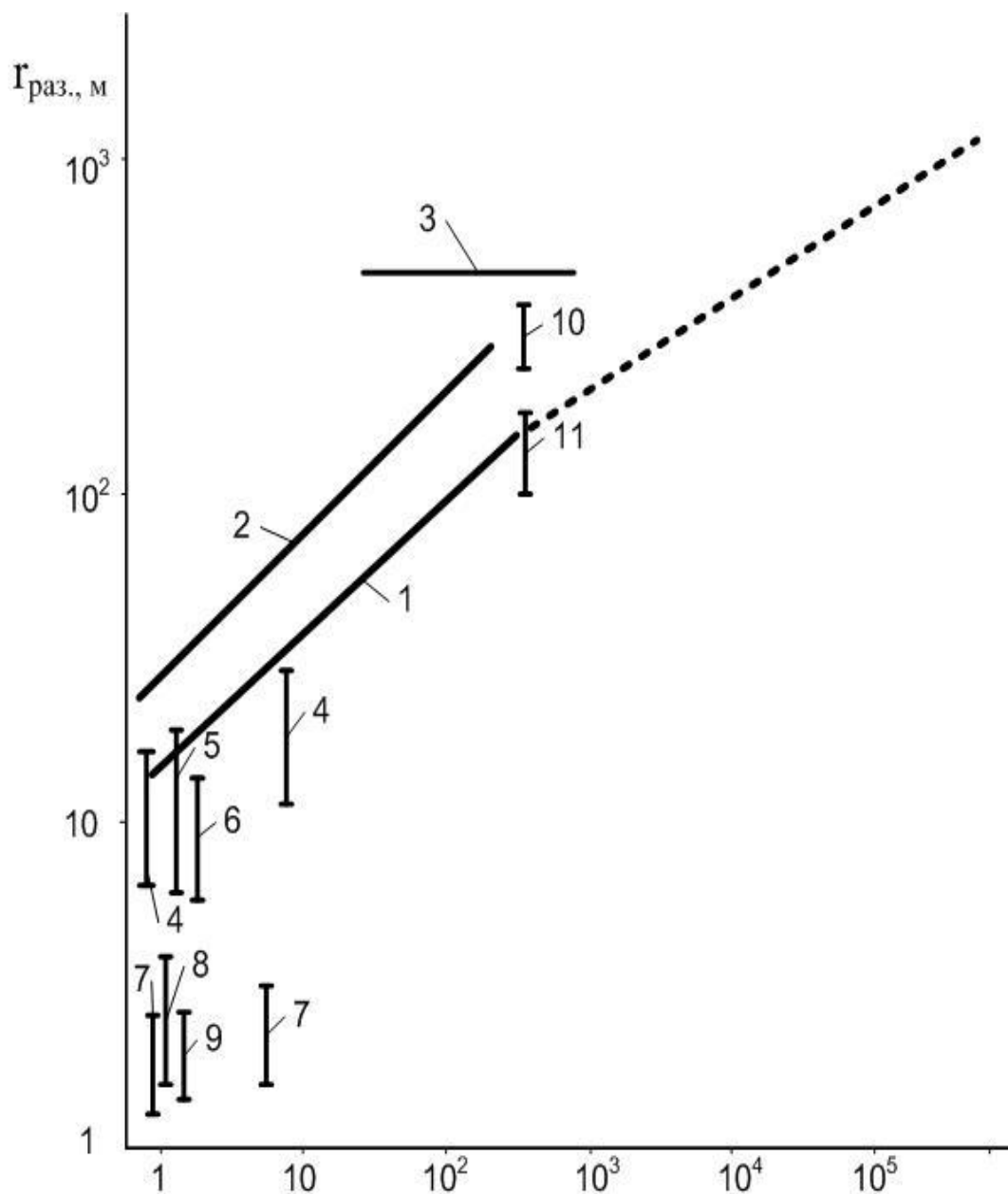


Рисунок 2.26 - Сравнительные результаты по разлету осколков и камней

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 гильпор, 8. металл, гильпор, 9. бетон, гильпор, 10. гранит, массовый гильпор, 11. гранит, массовый гильпор.

Таким образом, по результатам комплексных экспериментальных исследований получены основные взрывчатые характеристики и показатели безопасности гелевых ВВ, а также установлены закономерности изменения параметров ВУВ, ПУВ и местного действия взрывов зарядов на их основе.

2. 4 Выводы

1. Разработан способ утилизации гексогеносодержащих боеприпасов. Утилизация по разработанному способу позволяет извлечь до 30% ВВ и снизить вредное экологическое воздействие на окружающую среду.

2. Гелевые ПВВ при достаточной чувствительности к импульсу инициирования более эффективны по работоспособности по отношению к эталонным ПВВ. При этом они более безопасны в обращении и взрывании: водостойчивы, не электризуются, не пылят, не токсичны, у них отсутствует переход горения в детонацию.

3. Выявлены особенности изменения параметров ВУВ от взрывов зарядов гелевых ПВВ, заключающиеся в более резком снижении скорости её распространения и уменьшении длительности положительной фазы вопреки классической теории.

4. Максимальное избыточное давление во фронте ПУВ при взрыве зарядов гелевых ПВВ на приведенных расстояниях до $10 \text{ м/кг}^{1/3}$ существенно (до 50%) ниже, а на более дальних расстояниях на 10...20% меньше чем при взрыве зарядов ТНТ, что позволит использовать заряды геляпора для проведения подводных взрывных работ вблизи гидросооружений и подводных конструкций, а также дноуглубительных работ.

5. Работоспособность гелевых ПВВ в зоне воронкообразования до 2-х раз выше работоспособности зарядов типовых ПВВ.

6. При разделке негабарита удельный расход гелевых ПВВ меньше удельного расхода аммонита 6 ЖВ более чем в два раза. Фактический

удельный расход гелевых ПВВ варьируется от 1,0 кг/м³ до 1,3 кг/м³ в зависимости от крепости пород и линейных размеров отдельностей.

7. Фрагментация конструкций инженерных сооружений из бетона, железобетона, стали и дерева зарядами гелевых ПВВ более эффективна.

8. При массовых взрывах, разделке негабарита и фрагментации инженерных конструкций с применением гелевых ПВВ, зарегистрировано существенное уменьшение дальности разлёта осколков (до 30%), а до 70% осколков вообще остаётся в зоне воронкообразования, что позволяет рекомендовать использование зарядов гелевых ПВВ для проведения взрывных работ в стеснённых условиях.

9. Усовершенствованы смесевые промышленные ВВ на гелевой основе, включающие пироксилиновый порох из утилизируемых боеприпасов и позволяющие снизить уровень вредного экологического воздействия на окружающую среду.

3 Модель энерговыведения ПВВ на гелевой основе и результаты численных расчетов

3.1 Феноменологическая модель энерговыведения

Основной характеристикой ВВ является энерговыведение. Поскольку прямые измерения энерговыведения не проводились, то этот параметр оценивался по импульсу в ВУВ, ПУВ и объему воронок, измеренных в экспериментах. Сводная характеристика экспериментов представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сводная характеристика экспериментов

№ п/п	Среда	Масса ВВ, кг	Кол-во опытов	Примечание
1	Грунт (гранит)	до 50000	3	Массовый взрыв
2	Грунт (гранит)	до 6	73	Разделка негабарита
3	Грунт (гранит), вода	2	3	Дробление валунных камней под водой
4	Грунт (трещиноватый гранитный массив)	40	2	Накладной взрыв на поверхности
5	Грунт (глина)	2	2	Накладной взрыв на поверхности
6	Грунт (песок)	до 4	3	Накладной взрыв на поверхности
7	Вода	1	4	Подводный взрыв, глубина 4м
8	Грунт (гранит), вода	4	2	Накладной взрыв под водой на глубине 0,5м
9	Бетон	1	2	Накладной взрыв на поверхности
10	Металл (сталь)	1	2	Накладной взрыв
11	Железобетон	1	2	Накладной взрыв
12	Дерево	до 2	2	Накладной взрыв

По сравнению с традиционными ВВ при взрыве геляпора 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 и фугасное действие взрыва. По увеличенной глубине воронки и уменьшенному до 2-х

раз расходу ВВ при разделке негабарита [34,41] можно утверждать, что усиление параметров наблюдается уже в зоне заряда. В частности, максимальное кажущееся давление P_m в детонационной волне может быть в 1,5...2 раза выше рассчитанного по формуле [44,60,99]:

$$P_m = \rho D^2 / (\gamma + 1), \quad (3.1)$$

где D – скорость детонации, ρ – плотность ВВ, γ – показатель адиабаты.

Это кажущееся давление обусловлено затянутым фронтом детонационной волны.

В работах [6-8] достаточно строго показано, что работоспособность традиционных ВВ по методу Трауця можно рассчитать, зная паспортные данные по теплоте взрыва $Q_{вв}$ и объему образовавшихся газов V_0 . Если бы этот вывод был применим для геляпора, то параметры воронок от его взрывов были бы меньше, чем при взрывах традиционных ВВ, с которыми проводилось сравнение. В действительности же в этой зоне наблюдается увеличение тротилового эквивалента по сравнению с паспортными данными до 1,5...2 раз. По радиусам воронок и интерполяции длительности фазы сжатия можно предположить, что фаза усиления наблюдается до расстояний $R = 4M/кг^{1/3}$.

В зоне ослабления наблюдается резкое уменьшение максимального давления и длительности фазы сжатия (рисунки 2.5, 2.8, 2.10, 2.12). Эта зона простирается до расстояний $R = 10 м/кг^{1/3}$. Импульс давления на пределе этой зоны может быть меньше расчетного до 4-х раз.

В зонах усиления и ослабления наблюдаемые эффекты обусловлены сложными химическими (экзо-и эндотермическими) процессами, существенно отличающимися от тех, что происходят при детонации типовых ВВ.

За пределами зоны ослабления, когда ударная волна «забывает» об особенностях источника взрыва, ее параметры изменяются по классическим законам. Поскольку «стартовое» значение давления уже меньше

нормативного, то и на более дальних расстояниях акустические эффекты взрыва геляпора существенно меньше.

Результаты исследований специфических взрывчатых характеристик зарядов гелевых ПВВ изложены в ряде статей [13,34,35,41,43]. На рисунке 3.1 представлен характер изменения относительной работоспособности геляпора с расстоянием. Данные зависимости получены на основе совместного анализа результатов измерений параметров местного действия, гидроударной волны, воздушной ударной волны и результатов разделки негабарита.

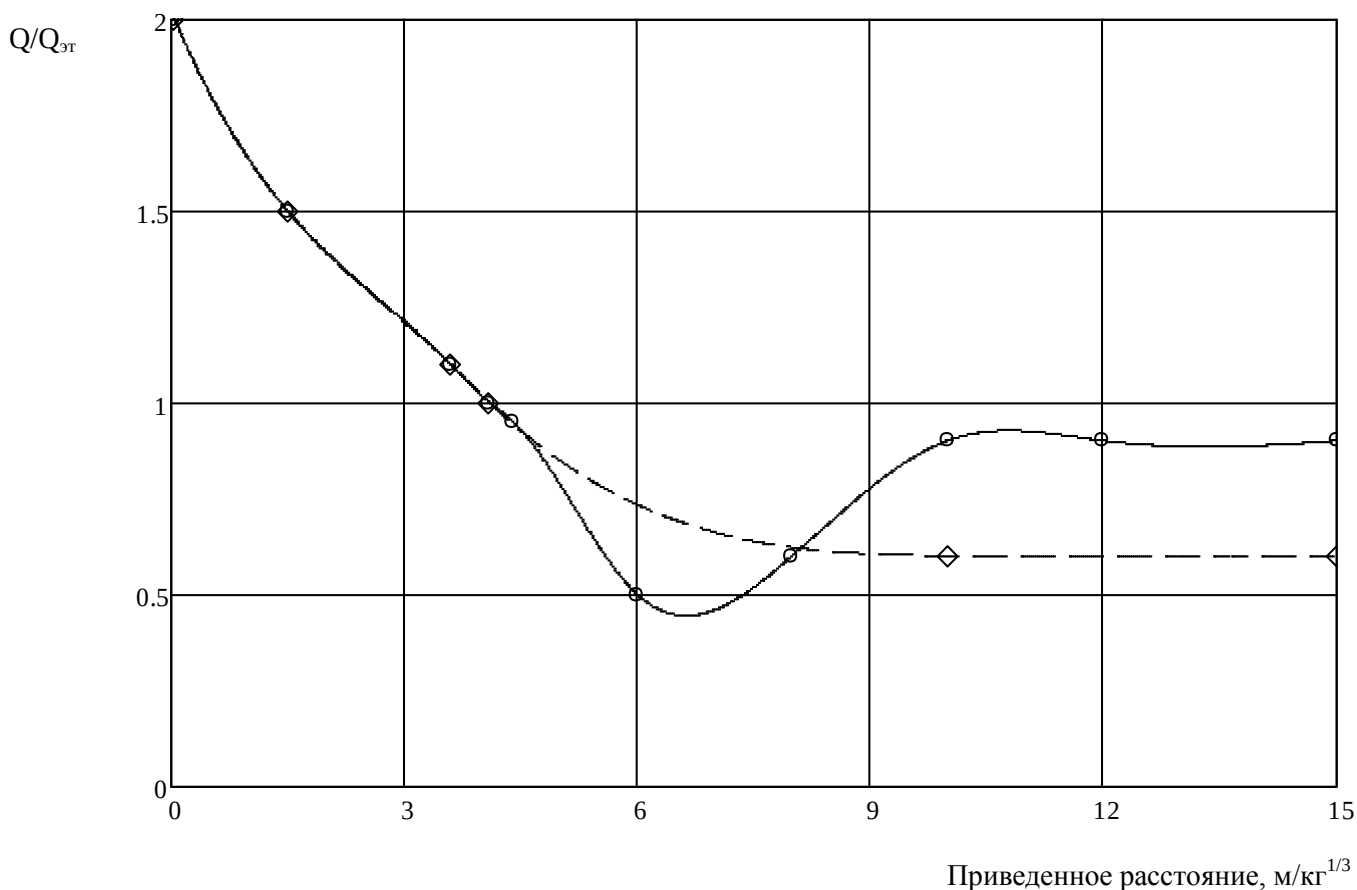


Рисунок 3.1 – Характер изменения относительной работоспособности геляпора с расстоянием в воде и воздухе : ○ – ПУВ ; ◇ – ВУВ

Зависимость относительной работоспособности как отношение условной энергии геляпора Q к энергии эталонного ВВ $Q_{\text{эт}}$ в воздухе и грунте описывается системой уравнений:

$$Q/Q_{\text{эт}} = \begin{cases} 1 + (4 - R^2) / 4 & \text{при } R \leq 4 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 1 - (R - 4) / 15 & \text{при } 4 < R < 10 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,6 & \text{при } R \geq 10 \text{ м/кг}^{1/3}; \end{cases} \quad (3.2)$$

а в воде :

$$Q/Q_{\text{эт}} = \begin{cases} 1 + (4 - R^2) / 4 & \text{при } R \leq 4 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,067R^2 - 0,94R + 3,65 & \text{при } 4 < R < 10 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 0,9 & \text{при } R \geq 10 \text{ м/кг}^{1/3}. \end{cases} \quad (3.3)$$

Для зависимости $Q/Q_{\text{эт}}$, представленной на рисунке 3.1, следует отметить, что до приведенных расстояний $4 \text{ м/кг}^{1/3}$ кривая является нижней оценкой, а для больших расстояний – ограничением сверху. В этом случае эффективность взрывов зарядов гелевых ПВВ будет не хуже расчётной, а в зоне негативного воздействия создаётся дополнительный запас надёжности.

Обращает внимание «потенциальная яма» для воды, обусловленная, по всей видимости, динамикой газового пузыря. В скальной породе этот эффект менее выражен.

Интегральный анализ всей совокупности результатов измерений и фактов, а также особенности химического состава показывает, что вшитая в состав геля вода приводит к абсолютно новым эффектам: вызывает «заваливание» фронта ударной волны и «подъедание» фазы сжатия.

Увеличение времени действия фронта, как следствие его «заваливания», обуславливает существенное уменьшение доли энергии взрыва на мелкодисперсное дробление (переизмельчение) породы до пылевых фракций, наиболее опасных по воздействию на организм человека. Таким образом снижаются диссипативные потери и увеличивается доля энергии на крупноблочное разрушение, в том числе «вынос» породы из воронки, т.е. увеличение ее объема.

Интенсивное уменьшение длительности («подъедание») фазы сжатия ударной волны тормозит разлет осколков породы, металла и бетона. В сыпучих средах, где практически отсутствует прочность на разрушение, импульса взрывного воздействия достаточно для выноса материала за пределы воронки.

В прочных средах и материалах на разрушение требуется определенное время, по истечении которого уже недостаточно импульса воздействия на разлет осколков и кусков и они либо остаются в пределах воронки, либо отлетают на незначительное удаление.

Наличием в геле химически связанной воды и пироксилинового пороха можно констатировать факт создания нового класса взрывчатых веществ.

Гипотетическая и строго не установленная кинетика химических превращений сопровождается адекватными детонационными процессами и для такого класса ВВ не применимы классические законы и соотношения параметров.

3.2 Физическая и математическая модель взрывного превращения водосодержащего ВВ

При взрыве водосодержащих ПВВ, к которым относятся и гелевые ПВВ, формирование детонационной волны и процесс передачи энергии взрыва среде имеют заметные отличия от взрывов индивидуальных и смесевых ПВВ [9,44].

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_o . Выделившаяся при взрыве энергия E_o в зависимости от детонационных параметров P_o , 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 [43].

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

$$Q_n = P_d/\rho_o(\gamma + 1), \text{ т.е. } \gamma = (P_d/\rho_o Q_n) - 1 \quad (3.4)$$

Поскольку гелевое ПВВ содержит воду, то часть энергии Q_n затрачивается на испарение и диссоциацию. Энергия испарения воды составляет 2,5 МДж/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 ~ 7%. Тогда показатель адиабаты, рассчитанный по зависимостям (3.1) и (3.4), для ГП-2У составит $\gamma = 2,09$, 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 $E_{дис} = 13,3$ МДж/кг, что для ГП-2 $E_{дис} = 1,33$ МДж/кг.

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

Процессы испарения и конденсации, диссоциации и ассоциации воды обуславливают многофазный процесс детонации гелевых ПВВ. Такой режим детонации приводит к растягиванию фронта волны, проявляющимся в снижении доли бризантности, вызывающей переизмельчение породы.

Сравнительные качественные зависимости максимального тангенциального напряжения для такого многофазного режима детонации представлены на рисунке 3.2. Зависимости тангенциальной волны напряжений на различных расстояниях от заряда при взрыве в граните для ТЭНа, аммонита, граммонита и игданита взяты из работы [69], а для геляпора получена на основе уравнения (3.2) и кумулятивного выхода грансостава (рис. 2.22).

Из рисунка 3.2 следует, что радиус зоны дробления для геляпора больше, чем для других типов ПВВ.

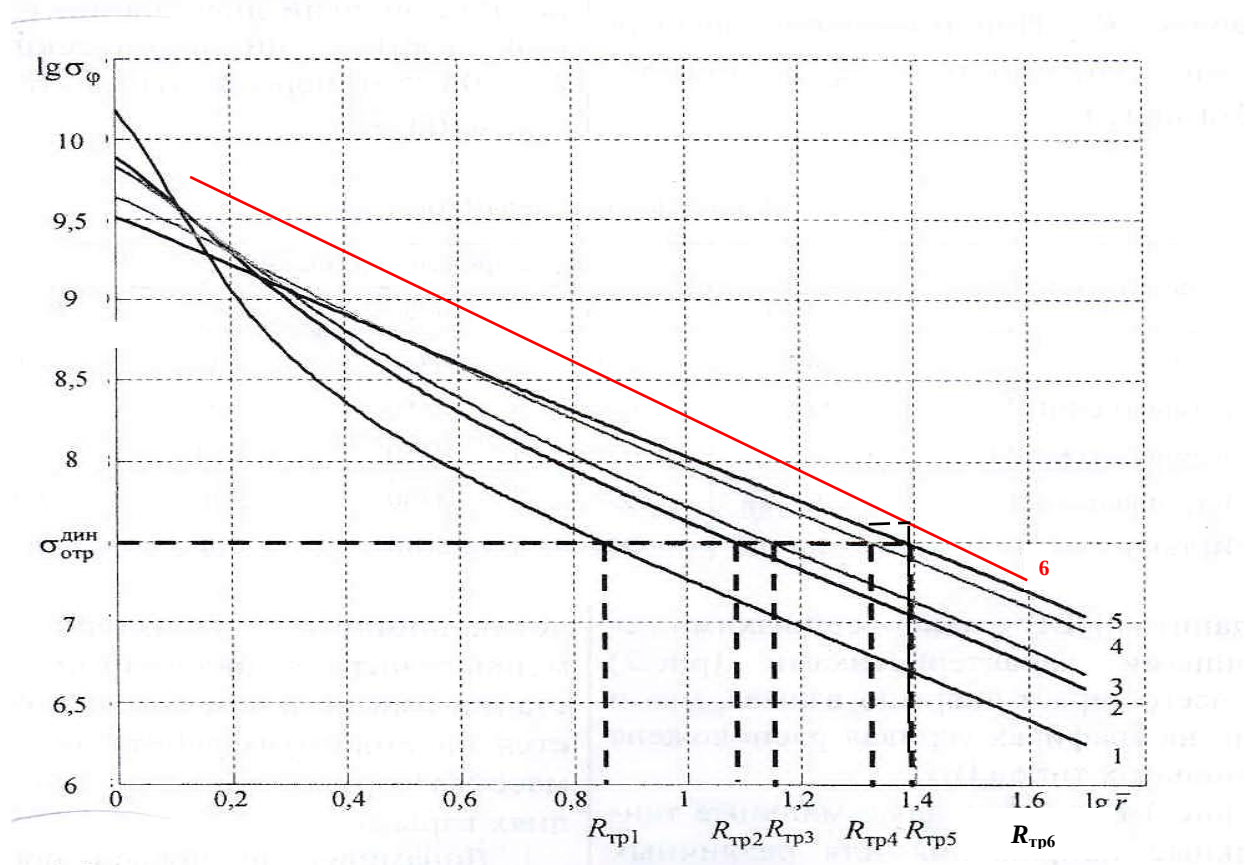


Рисунок 3.2 – Зависимость максимального тангенциального напряжения на стенке зарядной камеры от относительного расстояния:

1– ТЭН; 2 – аммонит 6ЖВ; 3 – аммоноит ПЖВ; 4 – граммонит 79/21; 5– игданит;
6- гелпор

Взрывы ПВВ повышенной мощности (ТЭН), обладающих усиленным бризантным действием, сопровождается высоким выходом пылеобразных фракций, а при взрывах низкоэнергетических ПВВ (граммонит) наблюдается относительно меньшее переизмельчение грунта. Чем выше параметры детонационной волны, тем больше напряжения на стенке взрывной камеры и тем больше энергия диссипации, расходуемая на переизмельчение. Зависимость доли энергии передаваемой грунту на расстояниях до $0,5 \text{ м/кг}^{1/3}$ при адиабатической разгрузке показаны на рисунке 3.3

Эта энергия в зависимости от детонационных параметров ПВВ и физико-механических свойств пород составляет от 15 до 70% энергии взрыва [69].

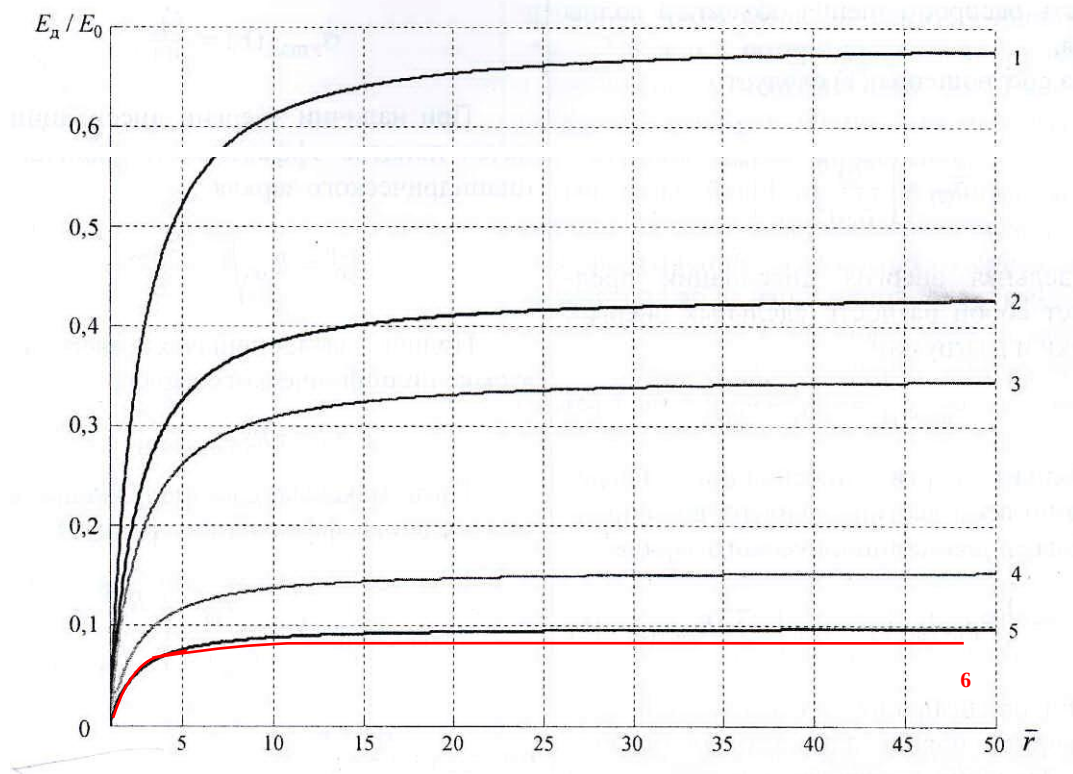


Рисунок 3.3 – Зависимость энергии волны напряжений

1 – ТЭН; 2 – аммонит 6ЖВ; 3 – аммонит ПЖВ; 4 – граммонит 79/21; 5 – игданит; 6 – гельпор

Таким образом, некоторый условный эффективный радиус заряда гелюпора, в отличие от типовых ПВВ, в зоне бризантности снижается, в зоне фугасного действия увеличивается, а зоне сейсмического действия уменьшается. Основной причиной такого режима изменения энергии взрыва гелюпора следует признать наличие связанной воды и пироксилинового пороха в его составе.

Высказанная гипотеза требует более углубленных исследований.

3.3 Численное моделирование и результаты расчетов

При прогнозировании параметров зоны взрывного разрушения пород и материалов все более широко используются численные расчеты, основанные

на достаточно адекватных моделях различных сред и применении высокопроизводительных компьютеров. Но при этом полного соответствия расчетов и экспериментов пока не достигнуто по различным причинам. Тем не менее, численное моделирование позволяет предсказывать достаточно корректно эффекты взрывного разрушения при органичном совместном анализе теории и эксперимента.

Такие численные расчеты наиболее хорошо согласуются с экспериментом для взрывов ТНТ как по причине обширного объема экспериментальных данных, так и по причине достаточно глубокой изученности параметров уравнений состояния продуктов детонации этого типа ВВ.

В условиях отсутствия данных по параметрам уравнений состояния для продуктов детонации гелевых ПВВ наиболее эффективным инструментом для прогнозирования параметров разрушения может быть метод комплексного использования численных расчётов и экспериментальных зависимостей для взрывов зарядов ТНТ совместного с выявленными закономерностями изменения работоспособности гелевых ПВВ [42].

Из набора основных типовых вариантов взрывного разрушения грунта или материалов рассматривается наиболее сложный – разрушение негабарита взрывом накладного заряда ПВВ. В этом варианте имеют место наибольшее число параметров и факторов: эпицентральной волна и волна сжатия в грунте, воздушная ударная волна, краевые эффекты и др.

Физическая модель взрывного разрушения негабаритного блока представлена на рис.3.4.

В соответствии с данными работы [1] наименьшее взрывное воздействие наблюдается в конусе с углом 15 – 30 град. В этом конусе распространяется только головная волна, определяющая эффекты разрушения. За пределами этого конуса на горную породу воздействуют дополнительно и другие волны: волна сжатия от воздушной ударной волны, конические волны, поверхностные волны и др.

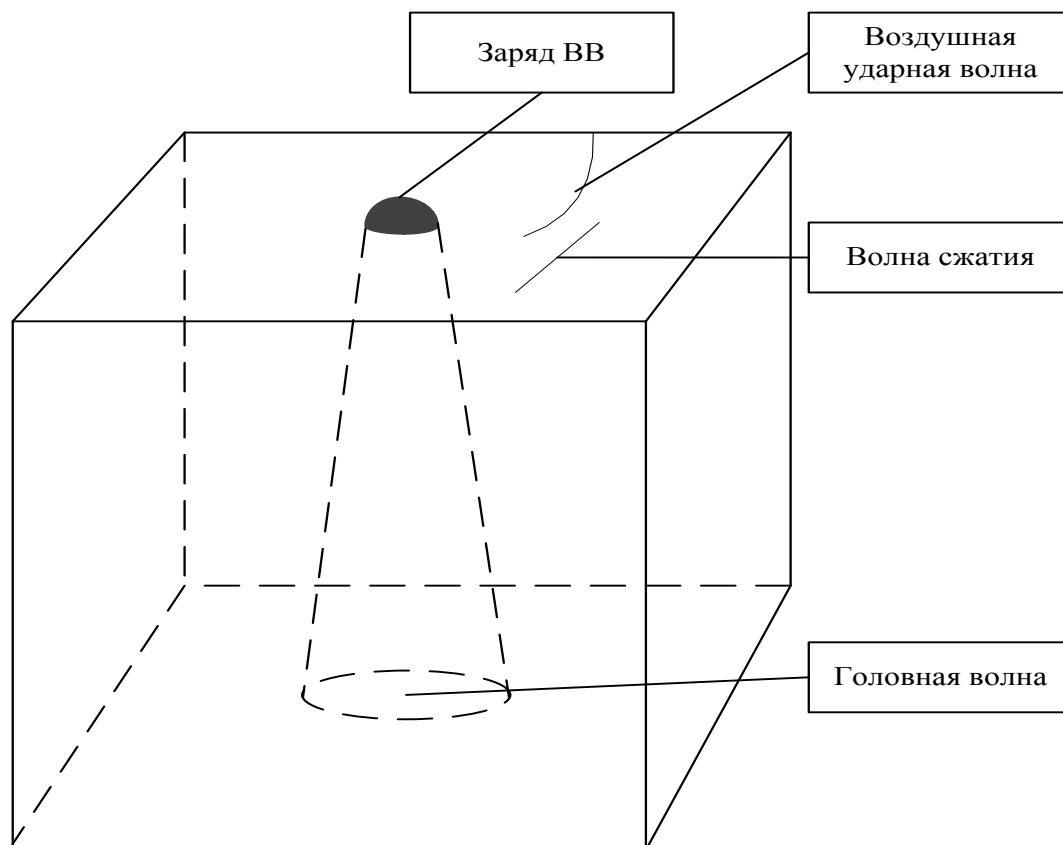


Рисунок 3.4 Физическая модель взрывного разрушения негабаритного блока

Для описания физических процессов разрушения рассмотрен взрыв полусферического заряда на поверхности однородного скального массива. Для проведения расчетов использовалась двумерная вычислительная программа, разработанная на основе лагранжева численного метода "Тензор" [5].

Как известно [66], особенностью лагранжевых численных методов является введение системы координат, связанной с фиксированной системой материальных точек. При этом лагранжевая разностная сетка строится таким образом, что каждый ее узел движется с локальной скоростью среды. Основным достоинством лагранжева метода является возможность контроля за состоянием отдельных частиц среды, что создает определенные удобства, особенно при решении задач с контактными границами, разделяющими

области веществ с различными свойствами, а также при использовании моделей среды, учитывающих предысторию нагружения частиц грунта.

Уравнения, описывающие движение и напряженное состояние твердого деформируемого материала в осесимметричном случае, имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\rho}{dt} + \rho \operatorname{div} \mathbf{u} &= 0, \quad u_r = \frac{dr}{dt}, \quad u_z = \frac{dz}{dt}, \\
 \rho \frac{du_r}{dt} - \frac{\partial s_{rr}}{\partial r} - \frac{\partial s_{rz}}{\partial z} - \frac{2s_{rr} + s_{zz}}{r} + \frac{\partial P}{\partial r} &= 0, \\
 \rho \frac{du_z}{dt} - \frac{\partial s_{zz}}{\partial z} - \frac{\partial s_{rz}}{\partial r} - \frac{s_{rz}}{r} + \frac{\partial P}{\partial z} &= g, \\
 \rho \frac{d\varepsilon}{dt} - s_{rr}\dot{\varepsilon}_{rr} - s_{zz}\dot{\varepsilon}_{zz} - s_{\theta\theta}\dot{\varepsilon}_{\theta\theta} - 2s_{rz}\dot{\varepsilon}_{rz} - \frac{P}{\rho} \frac{d\rho}{dt} &= 0,
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

где t — время; r, z, θ — цилиндрические координаты (z — ось симметрии); ρ — 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; ε — удельная внутренняя энергия; d/dt — лагранжева производная по времени:

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

Система уравнений (3.5) 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 [48]. 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 [48].

Выполнена серия расчетов, в которых варьировалась масса тротилового заряда q — 0,5 кг, 1 кг и 4 кг.

Для описания продуктов детонации тротила в расчетах использовалось уравнение состояния [44,99]. 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 рисунок 3.5, на котором показан фрагмент расчетной сетки в грунте, продуктах детонации и воздухе в момент времени $t = 0,2 \text{ мс}$ для массы заряда 1 кг. Маркерами на рисунке 3.5 отмечены ячейки, в которых в процессе деформирования уровень нагрузок превысил предел прочности скальной породы на сдвиг, то есть произошло разрушение скальной породы.

Характерные эпюры смещения, скорости движения скальной породы, диагональных компонент тензора напряжений и давления на различной глубине под центром взрыва мощностью 1 кг показаны на рисунках 3.6-3.7.

На рисунке 3.6 представлены расчетные эпюры давления, напряжений, скорости и смещения грунта (снизу – вверх) для глубины 0.2м под центром заряда. Маркером обозначен момент наступления разрушения грунта.

На рисунке 3.7 представлены аналогичные расчетные параметры для глубины 2м. На этой глубине взрывное воздействие уже не приводит к разрушению грунта.

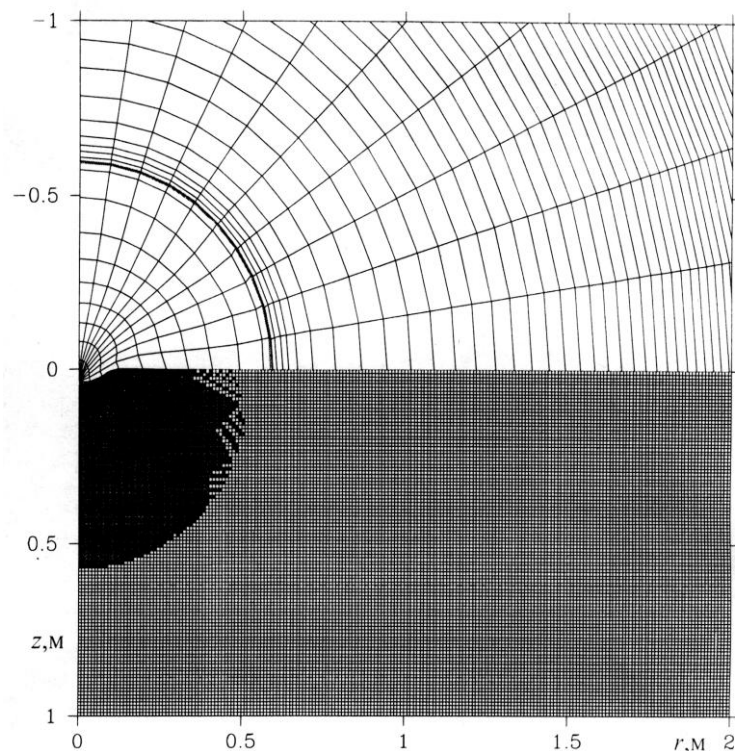


Рисунок 3.5 Фрагмент расчетной сетки на момент времени 0,2 мс.

На рисунке 3.8 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 аналитическая расчетная зависимость, полученная на основе экспериментальных данных для взрыва заряда геляпора массой 1 кг. На расстоянии менее 4 м действие взрыва заряда льпора более эффективно, чем тротила, а на расстоянии более 10 м – до 2-х раз слабее.

Зависимость, указанная на рисунке 3.8 пунктирной линией, является базовой для численной оценки взрывного воздействия на горную породу зарядов на основе геляпора.

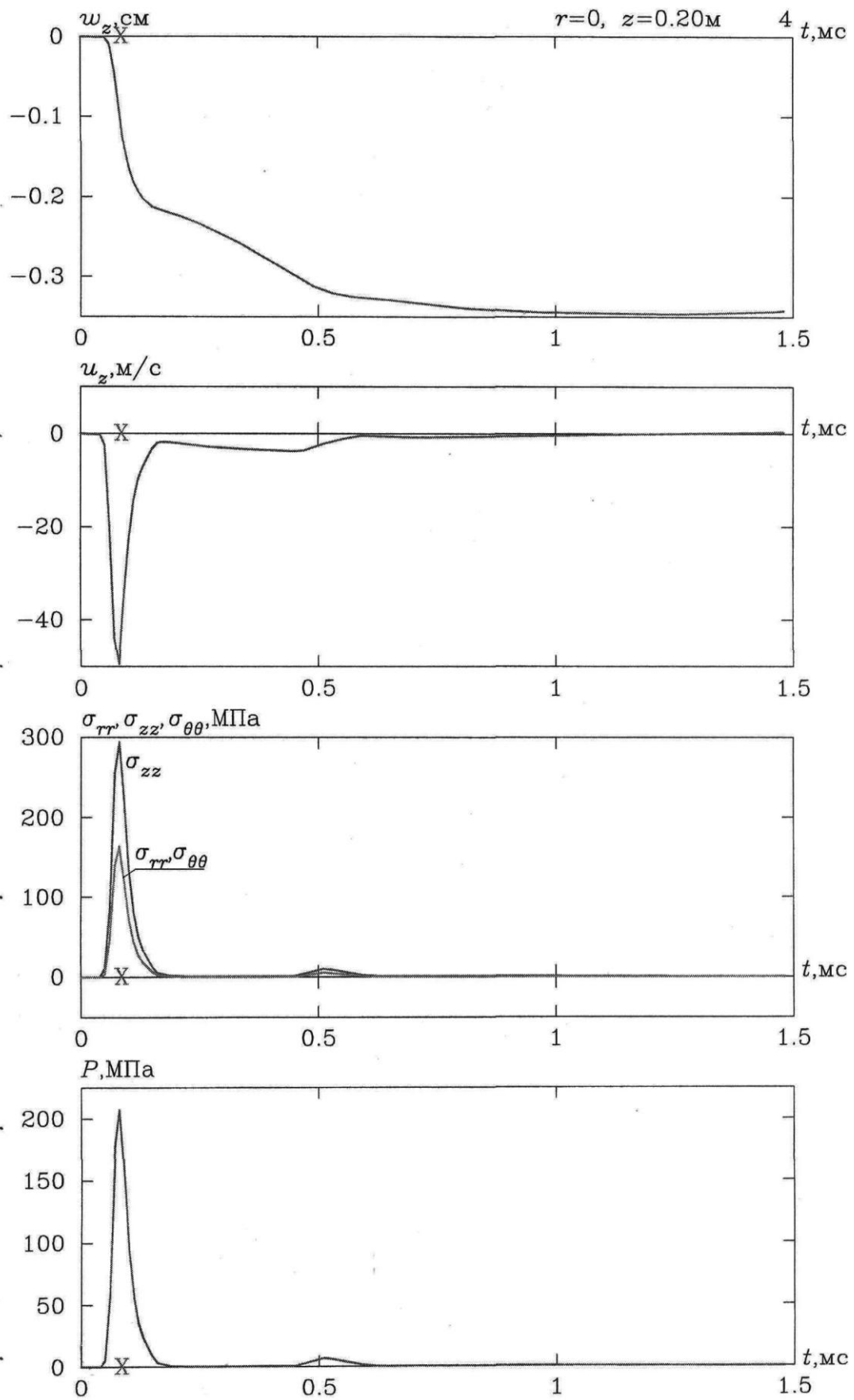


Рисунок 3.6 - Расчетные эпюры

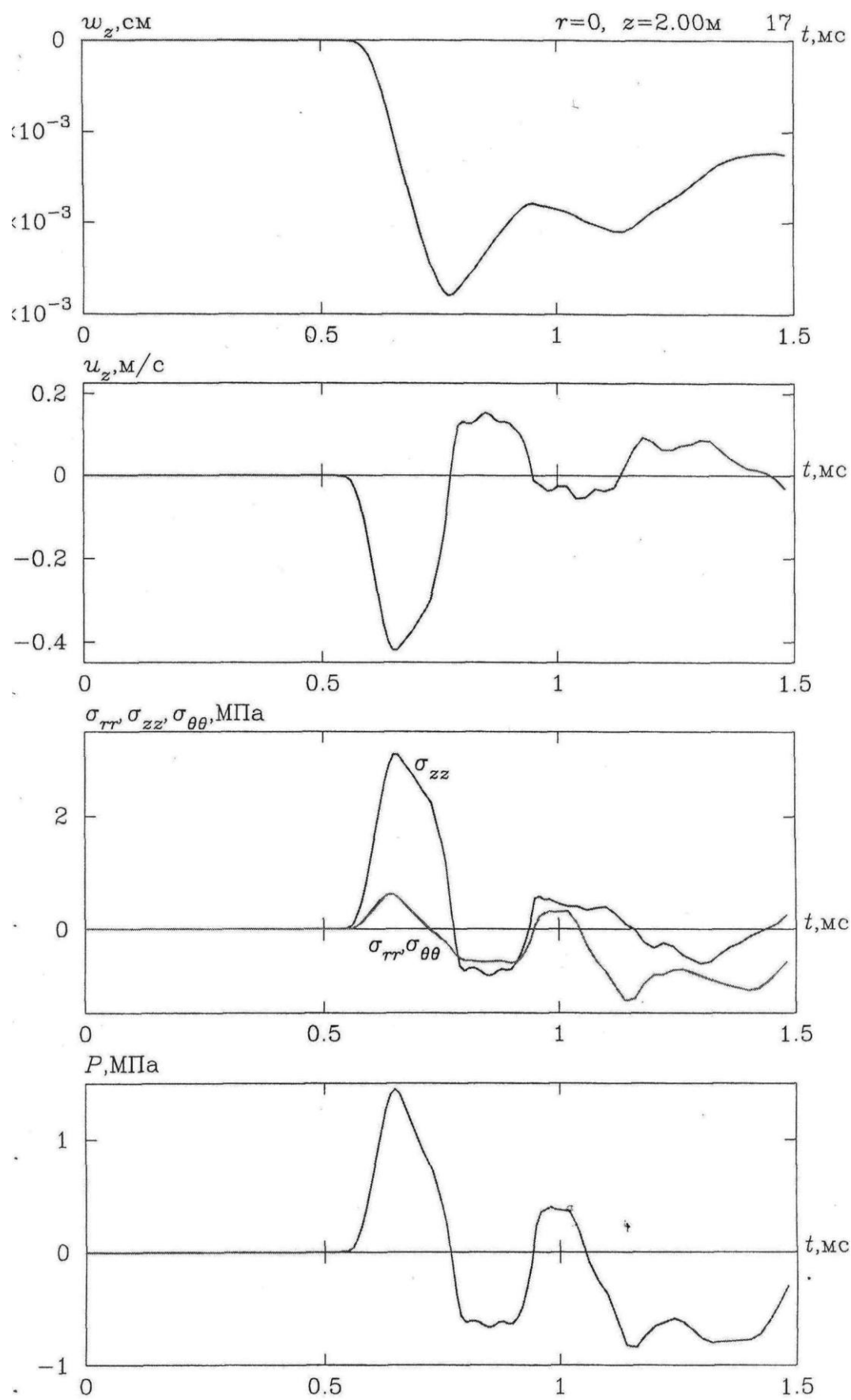


Рисунок 3.7 - Расчетные эпюры

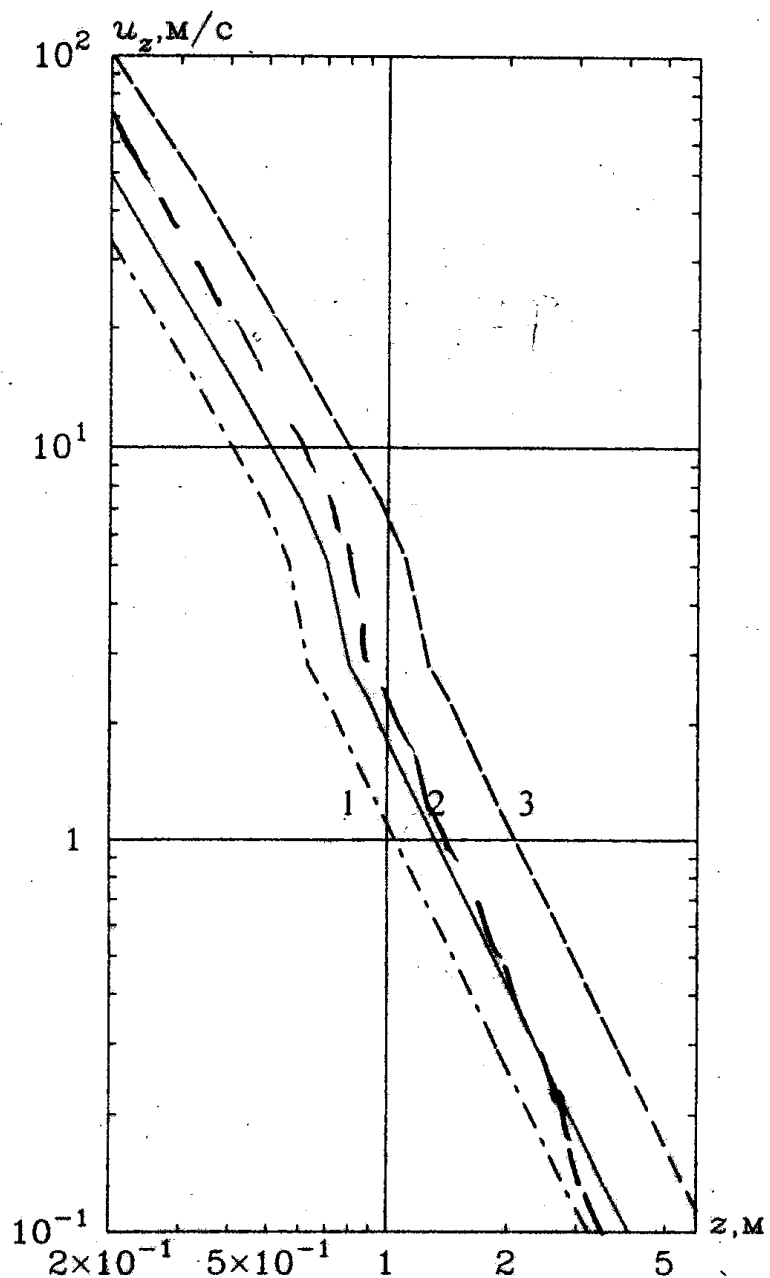


Рисунок 3.8 - Зависимость амплитуды скорости движения породы под центром взрыва от глубины для массы заряда; 1 – 0.5кг, 2 – 1кг, 3 – 4кг, пунктир – 1кг геляпора.

Следует отметить, что для случая однородного скального массива, соотношения амплитудных параметров сейсмовзрывных волн при взрывах накладных зарядов различной мощности с хорошей точность соответствуют закону геометрического подобия [94].

Предлагаемая схема расчета может быть использована для корректировки эффектов взрывного воздействия как в зоне разрушения, так и в зоне упругих сейсмических волн.

Алгоритм оценочных расчётов воздействия взрыва заряда гелевого ПВВ на основе полученных закономерностей (зависимости (3.2) и (3.3), (рис.3.1 и 3.8) схематично показан на рис.3.9 и 3.10.

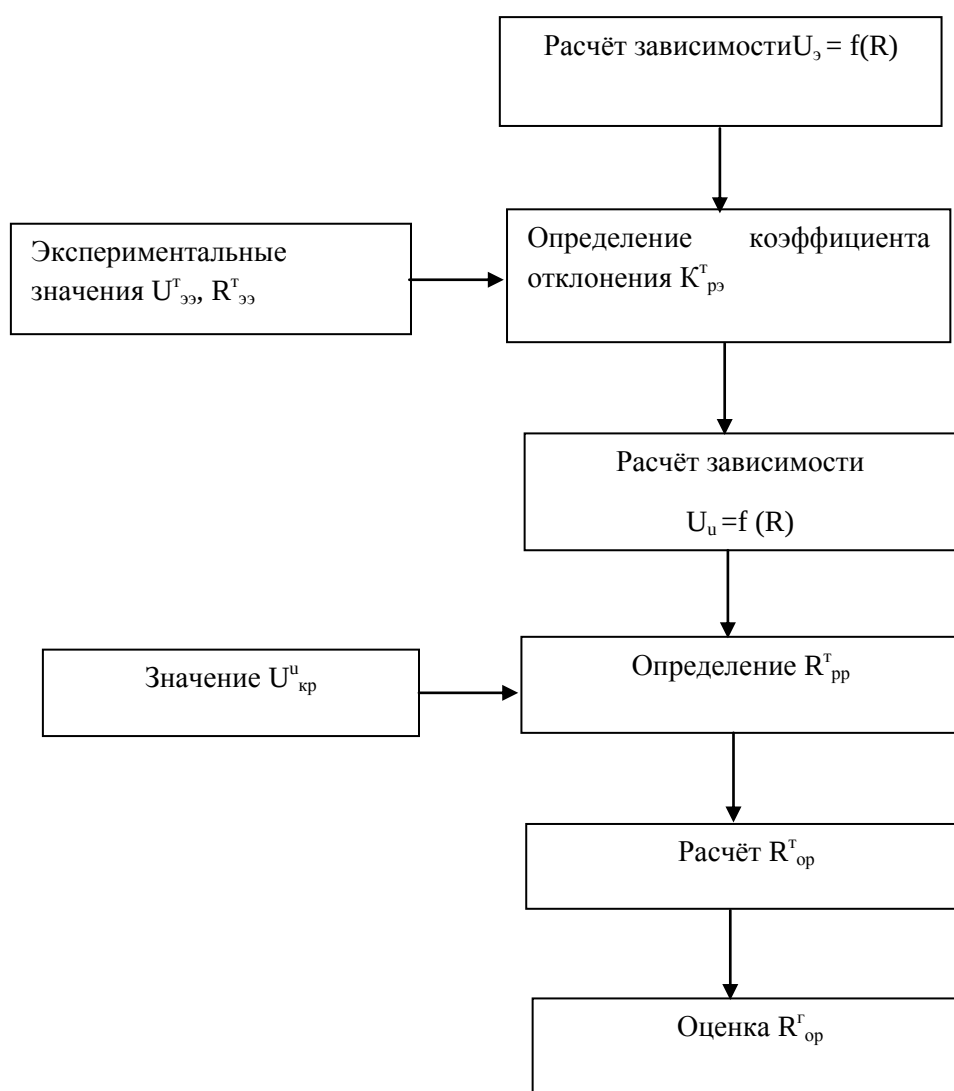


Рисунок 3.9 – Алгоритм расчёта для взрыва заряда гелевого ПВВ

Рассматриваемый алгоритм предполагает обязательно наличие экспериментальных зависимостей по параметрам взрывного воздействия

зарядов ПВВ с известными показателями в уравнениях состояния продуктов детонации. Наиболее предпочтительными являются зависимости для взрывов зарядов ТНТ.

Расчёт выполняется поэтапно (рис.3.10).

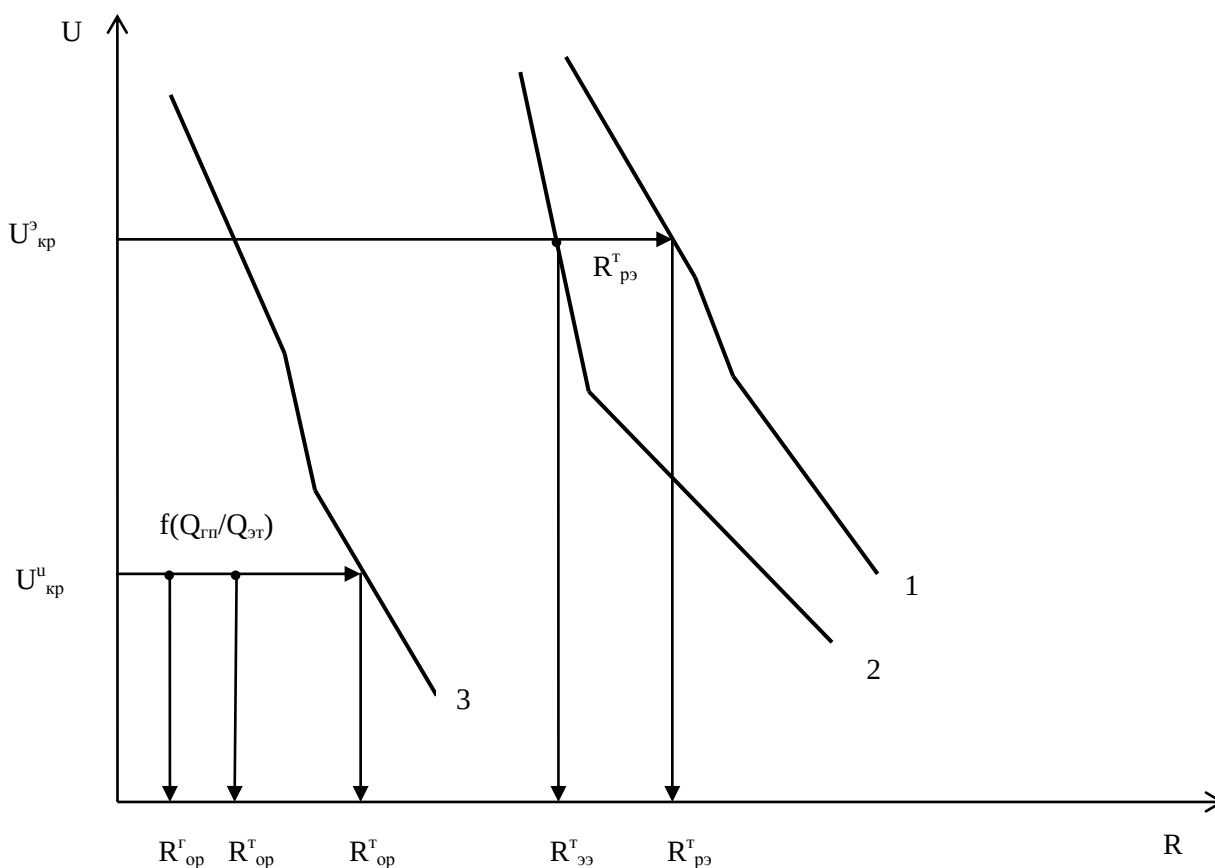


Рисунок 3.10 – Схема расчёта расстояния

На первом этапе по известным характеристикам грунта проводится численный расчёт и устанавливается зависимость максимальной массовой скорости в грунте от расстояния (линия 1 на рис.3.10).

На втором этапе по экспериментальной зависимости (линия 2 на рис.3.10) для известного значения $U^3_{кр}$ и ей соответствующих расстояний $R^T_{эз}$ и $R^T_{пэ}$ определяется коэффициент отклонения расчёта от эксперимента:

$$K^T_{пэ} = R^T_{пэ} / R^T_{эз} \quad (3.6)$$

На третьем этапе проводится численный расчёт зависимости массовой скорости для исследуемого грунта (линия 3 на рис.3.10).

На четвёртом этапе для известного значения $U_{кр}^u$ исследуемого грунта определяется соответствующее значение расстояния R_{pp}^T .

На пятом этапе по значениям расстояния R_{pp}^T и коэффициента отклонения $K_{рз}^T$ рассчитывается ожидаемое расстояние $R_{ор}^T$ для исследуемого грунта при взрыве заряда эталонного ПВВ:

$$R_{ор}^T = R_{pp}^T / K_{рз}^T \quad (3.7)$$

На шестом этапе осуществляется оценка ожидаемого значения расстояния $R_{ор}^T$ для взрыва заряда гелевого ПВВ с учётом экспериментальной зависимости изменения работоспособности $f(Q_{гп}/Q_{эт})$:

$$R_{ор}^T = R_{ор}^T f(Q_{гп}/Q_{эт}) \quad (3.8)$$

Таким образом, представленная численная модель взрывного воздействия и алгоритм расчета позволяют прогнозировать эффекты разрушения горных пород зарядами гелевых ПВВ.

3.4 Выводы

1. Установлено, что гелевые ПВВ обладают изменяющейся работоспособностью. В зоне воронкообразования их работоспособность до двух раз превышает работоспособность эталонных ПВВ, на приведенных расстояниях $\sim 4\text{м/кг}^{1/3}$ они сравниваются, далее работоспособность снижается с 90% до 50% по отношению к ТНТ.

2. Установлено влияние воды в составе гелепоров на характеристики взрывного воздействия. На испарение и диссоциацию воды расходуется $\sim 40\%$ от энергии взрыва зарядов гелепора. Но сначала испарившаяся вода создает дополнительное давление на окружающую среду. Затем она конденсируется и снижает энергию продуктов взрыва.

3. Численная модель взрывного воздействия для ПВВ с известными константами в уравнениях состояния продуктов детонации позволяет адекватно оценивать основные параметры волн напряжений.

4. На основе численной модели разработан алгоритм оценки параметров воздействия взрыва зарядов гелевых ПВВ в грунтах, для которых отсутствуют экспериментальные закономерности.

4 Методические основы применения зарядов ПВВ на гелевой основе

На современном этапе развития промышленности строительных материалов резко возросли требования к качеству добываемой продукции, которая должна характеризоваться равномерностью дробления, минимизацией выхода некондиционных фракций и снижением размера негабаритного куска. Решение этой задачи может быть обеспечено путём перехода от скважин большого диаметра 214-243 мм на скважины малого диаметра 90-125 мм, с соответствующим уменьшением сетки скважин [31,62,63]. При этом обеспечение необходимой интенсивности дробления достигается путём рационального использования энергии взрыва за счёт правильного выбора типа ВВ и оптимизации параметров буровзрывных работ. До недавнего времени при отбойке прочных и особо прочных пород использовались штатные ВВ: для сухих скважин аммониты и граммониты, а для обводнённых – гранулотол и алюмотол. Однако в последнее время для этих целей всё чаще стали использоваться конверсионные ВВ. Опыт использования конверсионных ВВ на гранитных карьерах Ленинградской области показал, что их применение позволяет существенно снизить стоимость буровзрывных работ. Особенно хорошо себя зарекомендовали ПВВ на гелевой основе, которые можно одинаково успешно использовать при отбойке как сухих, так и обводнённых массивов. Они обладают высокими взрывчатыми характеристиками, хорошей водостойкостью и потопляемостью.

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.

Заряды на основе гелевых ПВВ востребованы при взрывных работах в стесненных условиях при чрезвычайных ситуациях и под водой.

Для комплекса этих задач предполагаются схемы и конструкции зарядов на основе гелевых ПВВ. Физической основой для разработки методических рекомендаций по их применению является сравнение с характером взрывного воздействия типовых ПВВ (рисунок 4.1).

Относительная
эффективность

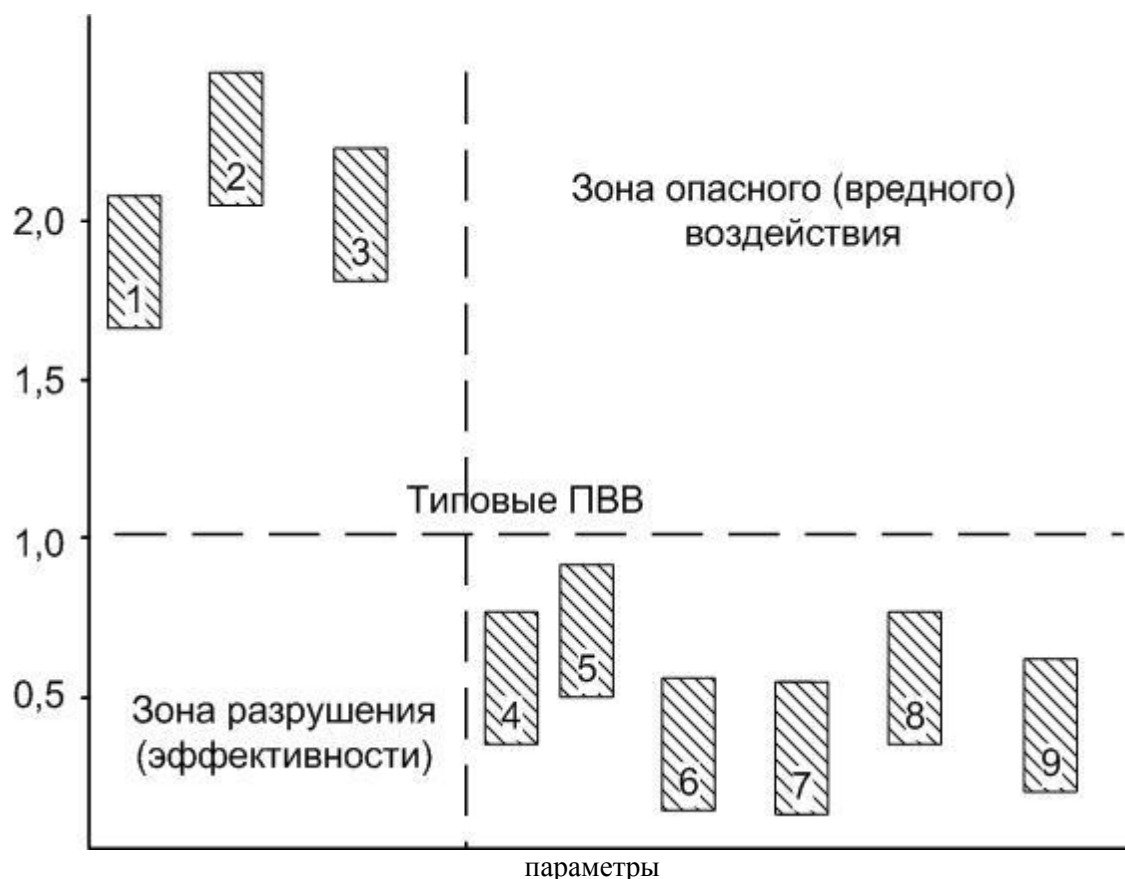


Рисунок 4.1 - Сравнительное воздействие взрывов зарядов гелевых и типовых ПВВ

1 – разрушение негабарита, 2 – местное действие под водой, 3 – местное действие, 4 – избыточное давление ВУВ, 5 – избыточное давление ПУВ, 6 – импульс ВУВ, 7 – разлет осколков (металл, бетон, грунт), 8 – разлет камней (массовый взрыв), 9 – пылевая фракция (радиус по работе [28]).

4.1 Взрывные работы в стесненных условиях, чрезвычайных ситуациях и под водой

Значительный объем взрывных работ занимают специальные работы, выполняемые по индивидуальным проектам, а не по типовой документации [11,16,25,29,30].

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, силосных башен, отдельных элементов зданий, 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.

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 вблизи гражданских и производственных зданий,

рядом с действующими объектами, оборудованием, механизмами и коммуникациями, т.е. в стесненных условиях.

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 [10,11,25,44,45,91]:

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

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.

Для оценки степени влияния непосредственно параметров скважинных зарядов ВВ на максимальную дальность разлета кусков горной массы, необходимо исключить влияние остальных факторов. Этого можно добиться, если проводить взрывные работы по разрушению горных пород зарядами различной конструкции в одинаковых условиях. Прогнозные оценки

максимальной дальности разлета кусков взорванной породы, выполненные по «Правилам...» [45] для колонковых скважинных зарядов, снаряженных граммонитом и гелепором, параметры которых представлены в таблице 4.1, соответственно составляют 400 и 315 метров.

При проведении промышленных испытаний зарядов гелепора на карьере ОАО «Гранит-Кузнечное» проводился массовый взрыв, целью которого была оценка качества дробления породы. Половина скважин во взрываемом блоке была снаряжена гранипором, а вторая половина – гелепором. Со стороны блока, снаряженной гелепором, осколки разлетелись на расстояние 100-150 м, а со стороны, снаряженной гранипором – на расстояние 250-300м (подраздел 2.3.3).

Из основных ситуаций, относимых к стесненным условиям, можно выделить такие, где главным критерием являются соотношения эффективность и сейсмическое воздействие, эффективность и разлет осколков, эффективность и воздушная ударная волна. Обеспечение первого и третьего соотношения основано на зависимости (3.2).

Для второго соотношения следует использовать зависимость (3.2) и формулы по разлету осколков из «Правил...» [45]. При этом оцениваемые безопасные расстояния по разлету осколков следует уменьшать в 1,5 – 2 раза.

Специфические свойства гелевых ПВВ позволяют сформулировать ряд рекомендаций по оценке параметров зон безопасности, установленных в «Правилах...»[45]. Безопасные расстояния для людей, указанные в таблице 5 можно уменьшить, не менее, чем на 20%. Расстояния, безопасные по разлёту отдельных кусков породы из таблицы 6, уменьшаются на 30%.

Расстояния, на которых колебания грунта, вызванные однократным взрывом сосредоточенного заряда гелевого ПВВ, становятся безопасными для зданий и сооружений, рассчитываются по формуле:

$$R_c = K_r K_c \alpha (Q_{гп}/2)^{1/3} , \quad (4.1)$$

где K_r – коэффициент грунта, K_c – коэффициент сооружения,
 α – условия взрывания, $Q_{гп}$ – относительное энерговыделение заряда
гелевого ВВ, рассчитанное по зависимости (3.1).

По воздействию ВУВ безопасные расстояния рассчитываются по формуле:

$$R_v = R_n (Q_{гп}/2)^{1/3} \quad (4.2)$$

Для человека безопасными являются расстояния, превышающие R_{min} :

$$R_{min} = 15(Q_{гп}/2)^{1/3} \quad (4.3)$$

Вместе с тем, при взрыве зарядов гелевых ПВВ под водой максимальное избыточное давление во фронте ПУВ на приведенных расстояниях до $10 \text{ м/кг}^{1/3}$ существенно (до 50%) ниже, а на более дальних расстояниях на 10...20% меньше чем при взрыве зарядов ТНТ. Указанные обстоятельства позволяют рекомендовать использование гелевых ПВВ для проведения дноуглубительных работ, а также подводных взрывных работ вблизи гидросооружений и подводных конструкций.

4.2 Скважинный комбинированный заряд

При отбойке горных пород скважинными зарядами проблемными являются зона подошвы и приповерхностная зона, в которых из-за граничных и краевых эффектов наблюдаются отклонения в характере разрушения породы от средней зоны, в которой параметры разрушения достаточно равномерны и хорошо прогнозируемы.

К зоне нерегулируемого дробления [10,31,53,62,63,65,106,107,115] условно относится зона, прилегающая к свободной поверхности массива, где, вследствие развития откольных эффектов под влиянием отраженных взрывных волн, фрагментация осуществляется в основном по естественным трещинам, что обуславливает повышенный выход крупных фракций (негабарита).

Таким образом, зона нерегулируемого дробления включает в себя верхнюю зону (зону забойки) и боковую (приоткосную зону), прилегающую к откосу уступа.

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. Поэтому при отработке рациональных параметров буровзрывных работ в крупноблочных массивах крепких пород мощность этого слоя, как правило, стремятся ограничить за счет уменьшения величины забойки [30,65].

Под зоной регулируемого дробления (зоной сжатия) имеется в виду зона, заключенная внутри взрываемого массива между колонками скважинных (шпуровых) зарядов. Здесь, как правило, осуществляется весьма интенсивное взрывное дробление горных пород.

Известно, что качество взрывного дробления горной массы в значительной мере определяется соотношением зон регулируемого и нерегулируемого дробления. Несмотря на то, что и в зоне регулируемого дробления и в зоне нерегулируемого дробления качество дробления горной массы не изменяется при изменении объемов этих зон, суммарное качество дробления горной массы по отбиваемому блоку изменяется существенно. При этом совершенно не важно, за счет каких инженерных приемов и способов достигается изменение соотношения этих зон [29].

Таким образом, для повышения качества дробления горной массы в целом, необходимо увеличивать объем зоны регулируемого дробления. Этого можно добиться, например, если использовать для разрушения пород взрывчатые вещества с удлиненной зоной химической реакции, способствующей уменьшению зоны пластических деформаций (переизмельчения). Уменьшение затрат энергии ВВ в зоне пластических

деформаций (3–5 радиусов заряда) позволяет повысить коэффициент использования энергии взрыва на дробление основной массы породного массива. Таким образом, сокращение зоны переизмельчения, способствует увеличению зоны регулируемого дробления и повышению полезной работы взрыва на дробление пород в целом [73].

Радиус зоны регулируемого дробления в зависимости от естественной трещиноватости массива и величины объемной концентрации энергии применяемого ВВ составляет от 12 до 30 радиусов заряда [7].

В свою очередь величина объемной концентрации энергии зависит от типа применяемого ВВ, выбор которого наряду с экономическим и экологическим факторами, определяется крепостью пород, их обводненностью и технологическими требованиями к горной массе по интенсивности дробления.

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 перебуром, т.е. на глубину, большую высоты уступа. Глубина перебура скважин обычно составляет 10...15 диаметров и уточняется на основе анализа результатов предыдущих взрывов. В крепких породах в перебуре скважин размещается заряд более мощного ВВ.

В большинстве существующих конструкций скважинных зарядов ВВ основное внимание уделяется повышению безопасности взрывных работ, технологичности заряжания скважин, полноте детонации ВВ в скважине и др., а вопрос влияния конструкции зарядов на эффективность дробления породы не рассматривается. Следовательно, качество дробления породы предусматривается обеспечивать в основном за счет выбора оптимальных параметров буровзрывных работ (БВР), таких как: сетка скважин, удельный расход ВВ и др., а также использование короткозамедленного взрывания.

Вместе с тем, как показывает практика, наряду с выбором оптимальных параметров БВР существенное влияние на эффективность дробления породы оказывает конструкция заряда и характеристики используемого ВВ.

Уменьшение бризантных форм работы, увеличивающих потери полезного ископаемого вследствие местного переизмельчения, и увеличение общих форм работы взрыва при одинаковой энергии заряда могут быть достигнуты за счет уменьшения скачка давления и увеличения его длительности [44].

Известно, что на форму и длительность взрывного импульса оказывают влияние все свойства ВВ, но наибольшее – скорость детонации и ширина зоны химической реакции. С уменьшением скорости детонации уменьшается пиковое давление головной части импульса и увеличивается длительность его нарастания. Увеличение зоны химической реакции приводит к уменьшению пикового давления головной части импульса взрыва и к увеличению его длительности, снижая диссипацию энергии и переизмельчение породы в ближней зоне [44,69].

Таким образом, для повышения эффективности дробления породы, а именно, уменьшения выхода негабарита из приповерхностного слоя массива и улучшения качества проработки подошвы уступа, целесообразно использовать гелевое ПВВ.

На основе такого ПВВ разработана конструкция скважинного заряда с оптимальным сочетанием экономических показателей и эффективности взрывного воздействия [36].

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 обводненности скважины, типом пород и технологическими требованиями к горной массе по интенсивности дробления.

Физическое и экономическое обоснование конструкции предлагаемого заряда заключается в следующем.

Размещаемый в перебуре гильпор в виду его высокой объемной концентрации энергии ($\sim 5,5 \text{ МДж/дм}^3$) способствует хорошей проработке подошвы уступа. Кроме того, гильпор обладает сравнительно высокой плотностью, поэтому для разрушения породы его требуется гораздо меньше, чем, если бы использовались типовые ВВ.

Следует отметить, что для скважин диаметром 170 мм и глубиной 10 м при сетке скважин 5,0 х 5,0 м, величина перебура при использовании типовых ВВ с плотностью заряжения $900 \dots 1100 \text{ кг/м}^3$ составляет 2,0 м, масса ВВ - 45 кг. При этом тротиловый эквивалент для указанного расстояния по подошве, вычисленный по зависимости (3.2) составит: $Q_{\text{гп}} \sim 1,7 Q_{\text{тнт}}$. Таким образом, масса заряда донного усиления $Q_{\text{доу}}$, снаряженного гильпором составит 26,5 кг. Следовательно, величина перебура и равная ей длина заряда донного усиления составит: $l_{\text{доу}} = Q_{\text{доу}}/p_{\text{гп}} = 26,5/33 = 0,8 \text{ м}$ ($p_{\text{гп}}$ – вместимость гильпора с плотностью 1450 кг/м^3 в 1м скважины, кг/м). Это соотношение обеспечивает качественную проработку подошвы уступа (за счет усиленного действия гильпора на расстояниях $R \leq 4\text{м/кг}^{1/3}$).

Целесообразность размещения заряда гильпора в верхней части скважины, в слое, непосредственно примыкающем к нижней структурно неизменной зоне забойки, обусловлена необходимостью уменьшить, а точнее оптимизировать выход негабарита из этой части массива. Наряду с тем, что гильпор обладает высокой объемной концентрацией энергии, он характеризуется повышенным импульсом, обусловленным сравнительно высокой скоростью его детонации и удлиненной зоной химической реакции, которая позволяет получить «растянутый» режим воздействия гильпора на горную породу и, как следствие, более высокое качество её дробления.

При этом расчет массы $Q_{\text{зпо}}$ и длины $l_{\text{зпо}}$ приустьевого заряда проводится следующим образом:

1. Исходные данные:

- длина забойки $l_{заб} = (0,7 \dots 1)W$, где W - сопротивление по подошве;
- p_o и $p_{гн}$ – вместимость в 1 м скважины основного ВВ и геляпора.

2. Масса Q_{ny} и длина l_{ny} приустьевого заряда для основного ВВ в зависимости от категории взрываемости пород составит [62]:

$$l_{ny} = (0,14 \dots 0,30) \cdot l_{заб}; \quad Q_{ny} = l_{ny} \cdot p_o.$$

3. Расстояние $R_{макс}$ до границы зоны воздействия приустьевого заряда равно $R_{макс} = ((W/2)^2 + (l_{заб} + l_{ny} - l_{пер})^2)^{1/2}$,

где $l_{пер}$ - длина перебура вышележащего уступа.

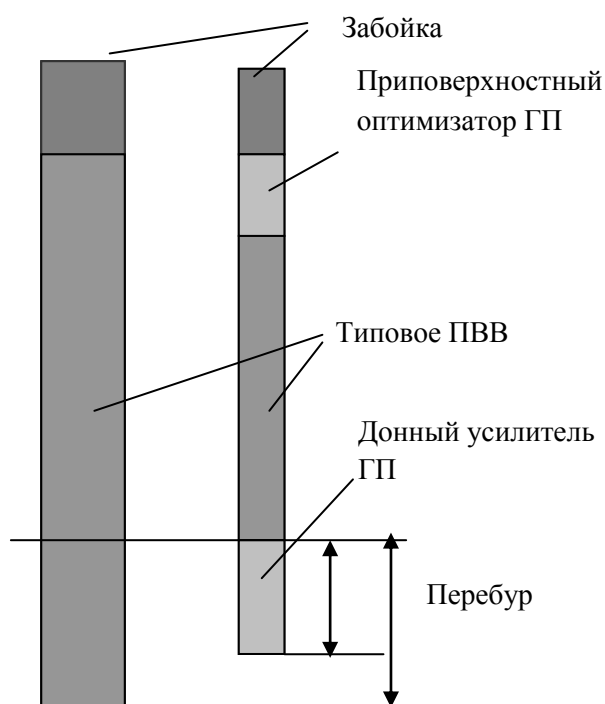
4. Приведенное расстояние $R = R_{макс} / Q_{ny}^{1/3}$.

5. По зависимости (3.2) определяется масса приустьевого заряда, состоящего из геляпора, $Q_{зпо} = Q_{ny} / (1 + (4 - R)^2 / 16)$ и его длина $l_{зпо} = Q_{зпо} / p_{гн}$.

Конструкция предлагаемого скважинного заряда представлена на рисунке 4.2. Использование таких зарядов позволяет существенно расширить сетку скважин, а их диаметр и величину перебура – уменьшить. 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 [13,36].

Использование таких зарядов позволяет получить максимальный эффект при разрушении крупноблочных массивов крепких горных пород с оптимальными экономическими затратами.

Экономический эффект в данном случае складывается из экономии на экскавации разрушенной горной массы за счет увеличения производительности погрузчиков, уменьшении объема буровых работ и экономии ВВ.



а) б)

Рисунок 4.2 – Конструкции скважинных зарядов:

а – традиционная конструкция;

б – предлагаемая конструкция

Сравнительные экономические показатели буровзрывных работ при проведении массового взрыва с использованием скважинных зарядов различной конструкции представлены в таблице 4.1.

В качестве типового ПВВ рассматривается граммонит, как наиболее распространенный на карьерах Карельского перешейка до 2010 года. В настоящее время большая часть карьеров использует эмульсионные ВВ. Плотность эмульсионных ВВ в скважине не должна превышать 1150 кг/м^3 , поскольку при более высокой плотности происходит срыв детонации и, как следствие, минирование блока пород массового взрыва.

В таблице 4.1 рассмотрено совместное применение граммонита и геляпора, так как на совместное использование геляпора и эмульсионного ВВ пока отсутствует разрешение Ростехнадзора.

Таблица 4.1 – Результаты сравнительных расчетов массового взрыва с использованием скважинных зарядов из граммонита, геляпора, комбинированного заряда и их экономические показатели

Наименование параметра	Значение параметра		
	граммонит (эмульсия)	гельпор	граммонит/гельпор
Объем разрушаемого блока, м ³	15000	15000	15000
Диаметр скважин, мм	170	170	170
Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³	0,783	0,5	0,783/0,5
Плотность ВВ, кг/м ³	1100	1450	1100/1450
Масса ВВ, т	11,8	7,5	6,0/1,5
Размер сетки скважин, м	5,0 x 5,0	8,0 x 8,0	5,5 x 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 проходки 1 п.м. скважины, руб.	415	415	415
Общая стоимость ВВ, тыс. руб.	354(216)	337,5	180/67,5
Общая стоимость буровых работ, тыс. руб.	239,0	149,5	190,0
Общая стоимость буровзрывных работ, тыс. руб.	593(455)	487,0	437,5

Использование комбинированных зарядов позволяет почти в 2 раза уменьшить количество типового ПВВ (граммонита).

4.3 Снаряжение шпуров при проходке подземных выработок

Для взрывания шпуровым методом используют вертикальные, наклонные и горизонтальные (слабонаклонные) шпуры.

Как правило, зарядание вертикальных и наклонных шпуров осуществляют жидкими, порошкообразными, гранулированными и патронированными ВВ, а горизонтальных – только патронированными [65]. 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 заряжания горизонтальных шпуров применительно к данным зарядам. Проблема заключается в том, что заряды геляпора, изготавливаемые 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 заряжания горизонтальных шпуров удлиненными зарядами гелеобразных ВВ в полиэтиленовой оболочке разработаны способ и конструкция для его реализации [37]. Суть предлагаемого способа заключается в подаче унитарного патрона с гелеобразным ВВ в шпур и протаскивании его вглубь с помощью предлагаемого устройства представленного на рисунке 4.3. При протаскивании патронированного заряда усилие прилагается к его передней части, что не приводит к его изгибу и исключает заклинивание в шпуре.

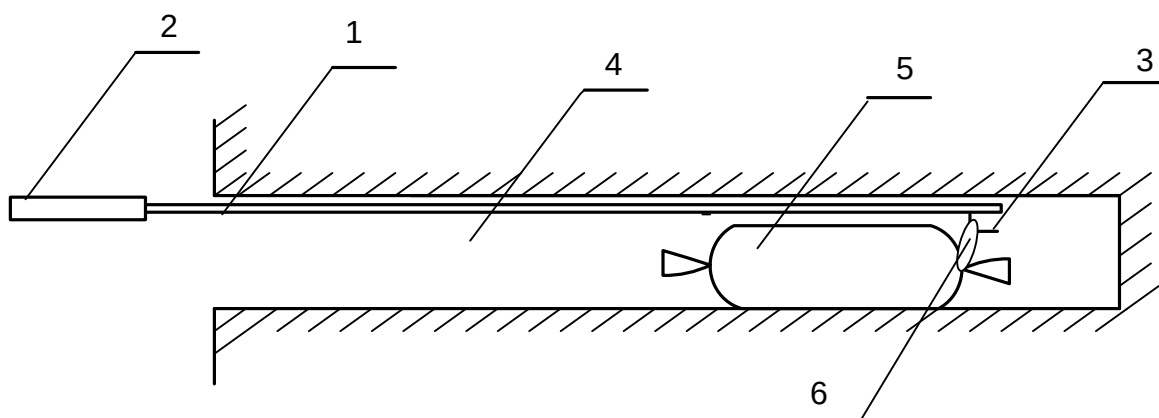


Рисунок 4.3 – Схема заряжания шпура

1– штанга, 2 – рукоятка, 3 – вилка, 4 – шпур, 5 – унитарный патрон, 6 – петля

Данный способ позволяет быстро и с высокой плотностью заряжать горизонтальные шпуры удлиненными зарядами гелеобразных ВВ. При этом, за счет отсутствия пустот повышается плотность заряжания шпура и

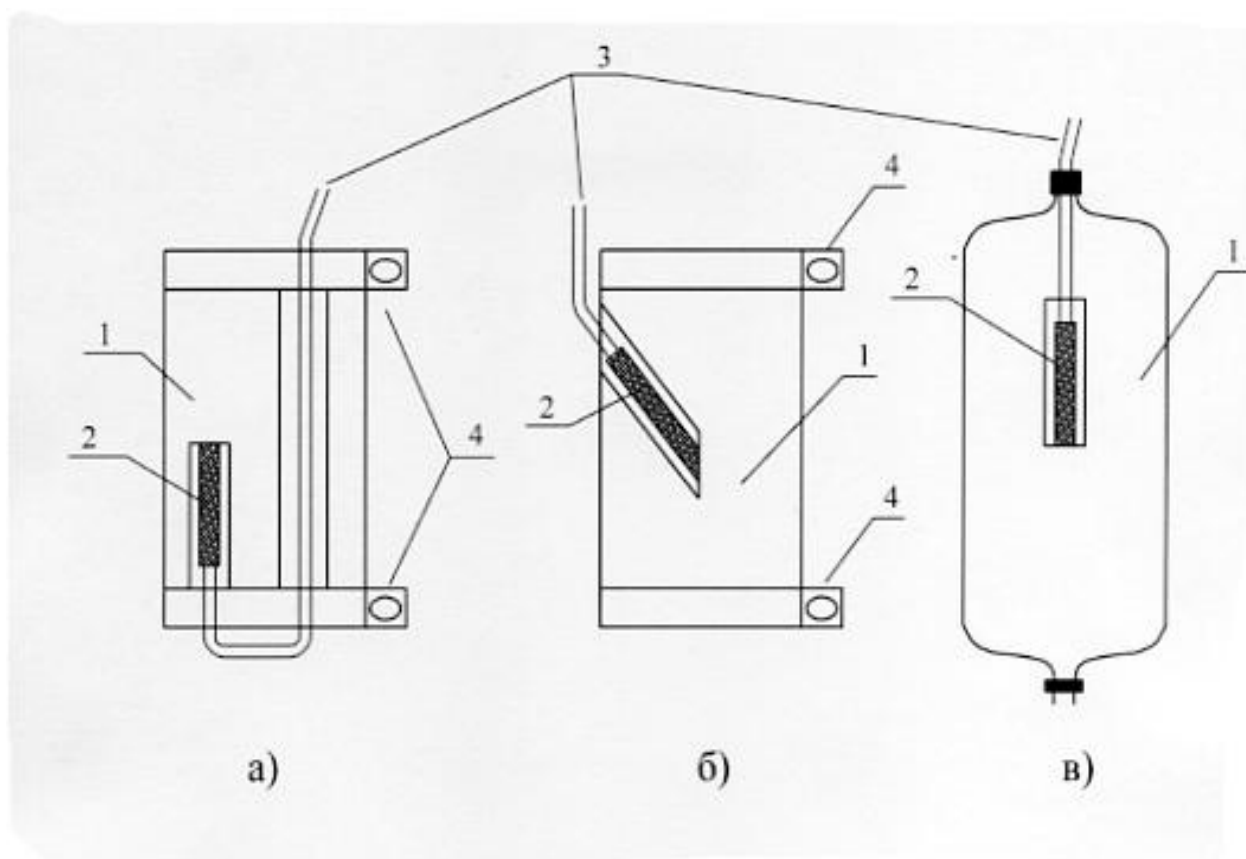
обеспечивается полнота детонации ВВ. Предлагаемое устройство дешево и просто в изготовлении.

Поскольку гелепоры обладают заметной вязкостью и ,соответственно , текучестью, в практических условиях необходимо придание заряду дополнительной жесткости. Для этих целей разработан ряд вариантов жесткого корпуса заряда из гелепора [39]. Варианты конструкций представлены на рисунке 4.4.

Сущность конструкции состоит в том, что заряд ВВ на гелевой основе помещается в оболочку из эластичного материала с гидрофобными свойствами цилиндрической формы с наружным диаметром 20-70мм. В передней части заряда имеются гнезда для размещения инициатора и волновода , а также с одного или обоих концов заряд снабжен кольцом с проушиной.

На концах патрона взрывчатого вещества при заделывании его торцов одним из технологических способов, будь-то клипсование или заделывание торцов обжатием отрезком проволоки, например алюминиевой, или запаиванием путем термообработки, в любом случае устраивается кольцо для подачи заряда в шпур, наклонную выработку или в любое другое труднодоступное место специальным устройством [37]. Эластичная оболочка патрона усиливается в нескольких сечениях, например у торцов и в середине, более жестким полиэтиленом, плотностью примерно 400мкм, путем термического припаивания его к полимерной оболочке на стадии её подготовки и тем самым уменьшая в этих местах площадь поперечного сечения заряда.

В связи с нестабильной работой скважинных зарядов на основе эмульсии разработан удлиненный инициатор на основе зарядов из гелепоров [38]. Такой промежуточный детонатор позволит существенно повысить надежность взрывания всего заряда в скважине.



1.унитарный патрон, 2.инициатор,3. волновод, 4.проушина

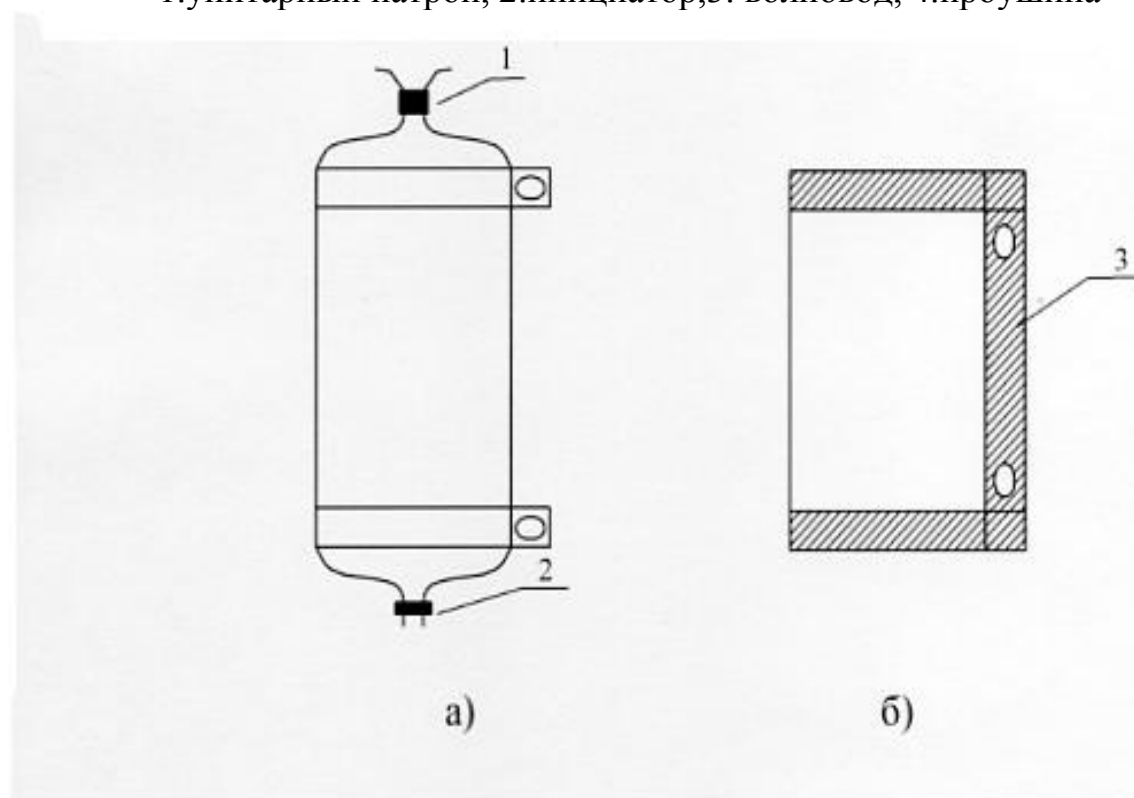
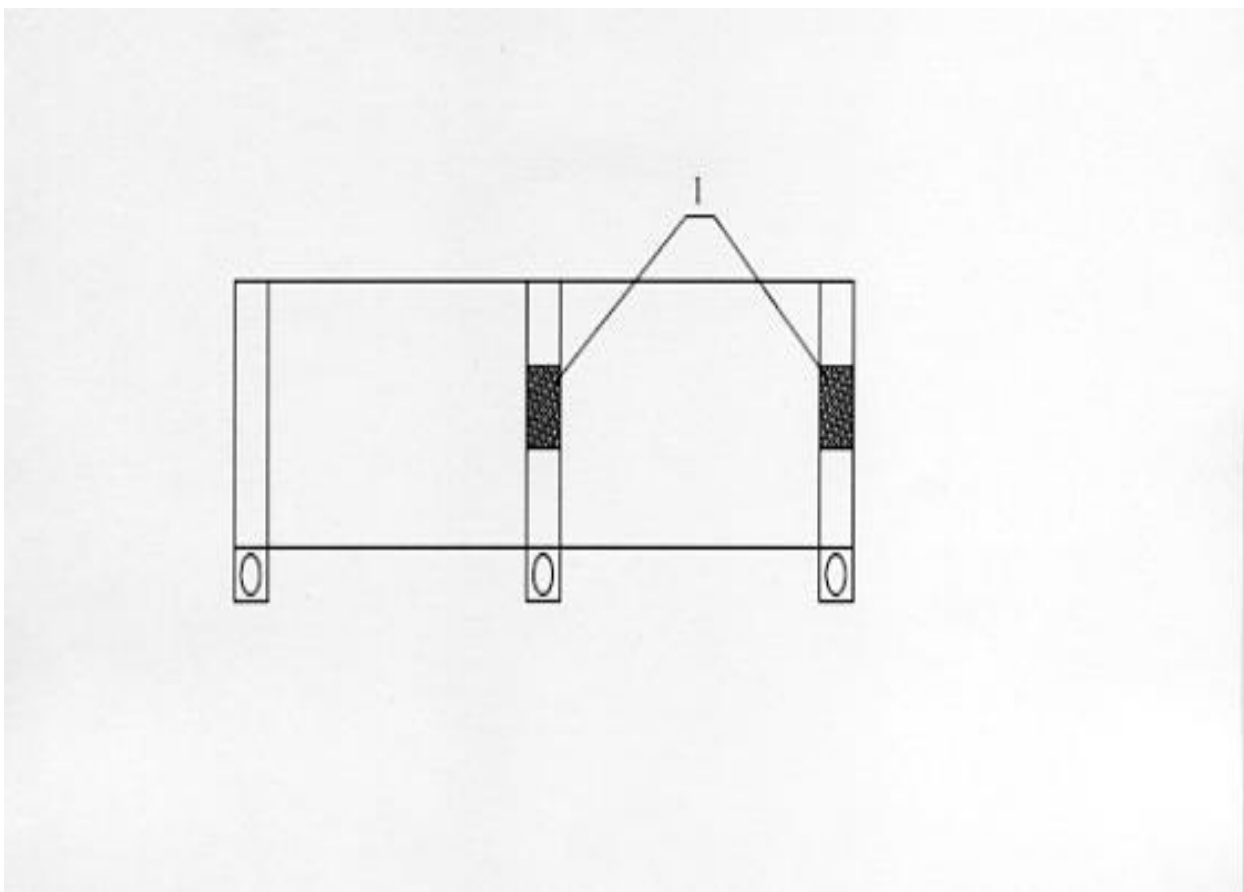


Рисунок 4.4 (а) – Заряд на основе геляпора
 1.зажим виде трубки, 2.зажим алюминиевой проволокой,3. технологическая полоса с проушинами.



1. места уплотнений полиэтилена

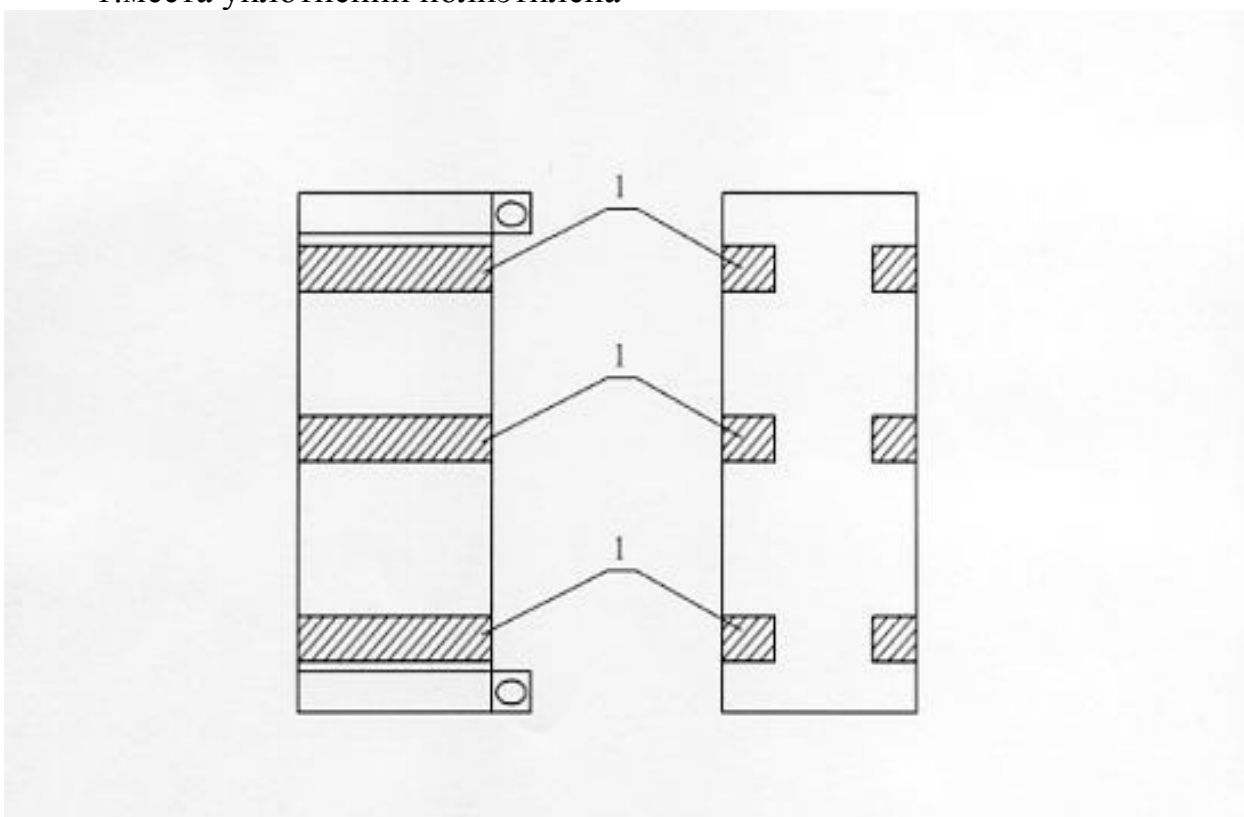


Рисунок 4.4 (б) – Заряд на основе геляпора
1. места уплотнений полиэтилена

4.4 Оценка экономической эффективности

Для сравнения экономических показателей различных типов ПВВ, используемых на открытых гранитных карьерах северо-западного региона, в представленной ниже таблице 4.2 приведены усредненные стоимости работ и материалов.

Таблица 4.2 – Сравнительные экономические показатели

Показатели	Тип ВВ			
	гранипор	граммонит	эмульсионное ВВ	гельпор ГП-2
Удельный расход бурения п.м./м ³ / стоимость, руб	0,065/27	0,063/26	0,065/27	0,035/15
Удельный расход ВВ, кг/м ³ /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 ³	73	79	53	53

Анализ таблицы 4.2 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.

4.5 Выводы

1. При проведении специальных взрывных работ в стеснённых условиях гелевые ПВВ обеспечивают «щадящее» воздействие на окружающую среду за счёт ослабленного воздействия воздушной ударной, подводной ударной и сейсмовзрывных волн и разлёта осколков.

2. Применение гелевых ПВВ в составе комбинированных зарядов позволяет существенно повысить эффективность буровзрывных работ и уменьшить экономические затраты за счет снижения выхода негабарита из приповерхностной зоны и подошвы и уменьшения объема бурения.

3. Предложены способ и конструкция устройства для надёжного снаряжения горизонтальных и наклонных шпуров гелевыми ПВВ в полиэтиленовой оболочке, а также разработки заряды геляпора с усиленным корпусом.

Заключение

В диссертации, являющейся завершенной 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 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.

Список использованных источников

- 1 Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. – М.: Недра, 1993.
- 2 Анисимов В.Н., Франтов А.Е., Пылегазоподавление при крупномасштабном взрывании при применении конверсионных ВМ //Сб. докладов VII Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» М., Изд. Дом «Оружие и технологии» 2007г.с.246-250.
- 3 Анников В. Э., Белин В. А., Смагин Н. П. и др. Водосодержащий пороховой взрывчатый состав. Патент РФ № 2183209, опублик. 10.06.2002.
- 4 Апин А.Я. О детонации порохов. В сб. Опыт использования пироксилиновых порохов на инженерных работах. Изд. АН УССР, Киев, 1952, с.82-96;
- 5 Архипов В.Н., Будков А.М. и др. Механическое действие ядерного взрыва.М.: Физматлит,2002.
- 6 Афанасенков А.Н.. О работоспособности ВВ. Метод Трауцля. Сб. Проблемы взрывного дела, № 1. – М.: МГГУ, 2002, с.114.
- 7 Афанасенков А.Н., Котова Л.И., Кукиб Б.Н. О работоспособности промышленных ВВ. Сб. Взрывное дело, № 93/50. – М.: 2001, с.19-23.
- 8 Афанасенков А.Н., Галкин В.В., Кукиб Б.Н. О работоспособности конверсируемого баллиститного пороха. Сб. Взрывное дело, № 91/48. – М.: 1998, с.108-114.
- 9 Барон Л.В., Кантор В.Х. Техника и технология взрывных работ в США. – М.: Недра, 1989, с.66-82
- 10 Безопасность взрывных пород в промышленности / Под. Ред. Б. Н. Кутузова – М.:Недра, 1992.
- 11 Белин В.А. и др. Специальные методы ведения взрывных работ. Часть 3. – М.: Изд. «Горная книга», «Мир горной книги», МГГУ, 2007, с.233-555
- 12 Белин В.А. Технические и экологические аспекты применения ВВ из утилизируемых боеприпасов на горных предприятиях. Сб. Взрывное дело, № 91/48. – М.: 1998, с.173-178..
- 13 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.
- 14 Белин В.А., Нишпал Г.А., Семенов А.А. Методика сравнительной оценки работоспособности промышленных ВВ на основе утилизируемых компонентов боеприпасов по воронке выброса. Сб. Взрывное дело, № 92/49. – М.: 1999, с.120-125.

- 15 Белин В.А., Смагин Н.П., Дорошенко С.И. Экспериментальные исследования характеристик ПВМ на гелевой основе. Взрывное дело: Сборник научных трудов / Под общей редакцией проф., доктора технических наук Белина В.А. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня № 8. – М.: Издательство «Мир горной книги», 2007. – С.143 – 148.
- 16 Богацкий В. Ф., Фридман А. Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного воздействия промышленных взрывов. – М.:Недра, 1982.
- 17 Болховитинов Л.Г., Перник Л.М.. Использование бинарной смеси АС-ДТ при проведении крупномасштабных взрывов. // Энергетическое строительство, № 7, 1991, с.42-45.
- 18 Боровиков В.А., Ваягин И.Ф., Менжулин М.Г., Цирель С.В. Волны напряжений в обводнённом трещиноватом массиве. Учебное пособие. – Л.: ЛПИ, 1989.
- 19 Боровиков В.А., Рыскунов А.А., Николаева Ю.Н., Стоянова Т.В. Совершенствование техники и технологии буровзрывных работ на гранитных карьерах. Сб. Взрывное дело № 91/48. – М.: 1998, с.196-200.
- 20 Ванштейн Б.И., Чернов К.С., Песоцкий М.К. Анализ методов определения работоспособности ВВ. Сб. Взрывное дело, № 84/41. – М.: Недра, 1982, с.75-83
- 21 Васильев С.В. Актуальные проблемы безопасной утилизации ракет и боеприпасов.VIII Международная научно-техническая конференция, сб.докладов,19-20 октября 2011г.,г. Красноармейск.М.: 2012.
- 22 Вещества взрывчатые промышленные. Гельпор ГП-ДП, ГП-2У, ПДГВ, ТУ 7276-572-05121777-2000, РХТУ им. Д.И.Менделеева.
- 23 Вещества взрывчатые промышленные. Гельпор ГП-Т, ТУ 7276-572-05121441-2011, ФГУП «СКТБ «Технолог».
- 24 Вещества взрывчатые промышленные. Гельпор ГП-С, ТУ 7276-001-11327508-2012, ОАО«Взрывинвест».
- 25 Викторов С.Д., Кузнецов В.А. К расчету зон, опасных по разлёту кусков взорванной породы. Сб. Взрывное дело № 92/49. – М.: 1999, с.233-239.
- 26 Викторов С.Д., Машуков И.В., Франтов А.Е., Филлипов П.А., Фефелов С.В., Кудряшов А.А. Перспектива применения простейших ВВ и изделий из конверсионных ВВ в вертикальных концентрированных зарядах. //В сб. Проблемы взрывного дела, №1,2002г., М.,с.146-150.
- 27 Викторов С.Д., Франтов А.Е. Развитие научных основ применения в геотехнологиях конверсионных ВВ //Сб. докладов VIII Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы утилизации ракет». Сборник докладов- М. Типография ФКП «НИИ Геодезия», 2012г.с.305-314.

- 28 Виноградов Ю.И., Парамонов Г.П., Кукса С.Н., Кузьмин С.Н. О модели разрушения гранитного массива взрывом. Сб. Взрывное дело № 94/51. – М.: 2004, с.102-109.
- 29 Галкин В.В., Гильманов Р.А., Дроговейко И.З. Взрывные работы под водой. – М.: Недра, 1987.
- 30 Ганопольский М.И., Барон В.Л., Белин В.А., Пупков В.В., Сивенков В.И. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы: Учебное пособие / Под ред. проф. Белина В.А. – М.: МГГУ, 2007. – 563 с.
- 31 Демидюк Г.П. Взрывные работы на карьерах. Развитие горных работ в СССР. – М.: Наука, 1968, с.188-211.
- 32 Дорошенко С.И., Белин В.А., Смагин Н.П. и др. Водосодержащий взрывчатый состав. Заявка на изобретение № 2011109392 от 14.03.2011 г.
- 33 Дорошенко С.И., Михайлов Н.П. и др. Способ утилизации боеприпаса. Патент на изобретение РФ № 2282137. БИМП №23,2006.
- 34 Дорошенко С.И. и др. Эффективность применения ПВМ на гелевой основе в инженерном деле. Записки Горного института/ Т.171. С-Пб.: СПГГИ, 2007. – С.150-152.
- 35 Дорошенко С.И. 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.
- 36 Дорошенко С.И. и др. Скважинный заряд взрывчатого вещества. Патент РФ на полезную модель № 75028 БИМП №20, 2008.
- 37 Дорошенко С.И. и др. Способ и устройство заряжания горизонтального шпура. Патент РФ на изобретение № 2403534 БИМП №31,2010.
- 38 Дорошенко С.И., Белин В.А. и др. Скважинный заряд взрывчатого вещества. Патент РФ на полезную модель № 116220 БИМП №14, 2012.
- 39 Дорошенко С.И. и др. Заряд взрывчатого вещества на гелевой основе. Патент РФ на полезную модель № 113347 опубликовано 10.02.2012.
- 40 Дорошенко С.И. 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.
- 41 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.: СПГГИ (ТУ) 2009, с.125-129 по списку ВАК).
- 42 Дорошенко С.И., Будков А.М. и др. Сравнительные расчеты сейсмического действия взрывов зарядов ТНТ и гелевых

- ПВВ//Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: Сборник докладов. М., ИД «Оружие и технологии», 2007, с.268-272.
- 43 Дорошенко С.И., Менжулин М.Г. Физические процессы формирования волновых возмущений при взрыве водосодержащих гелевых ПВВ//Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: Сборник докладов. М., ИД «Оружие и технологии», 2007, с.272-274.
- 44 Дубнов Л.В., Бахареви́ч Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1988, 358 с.
- 45 Единые правила безопасности при взрывных работах. ПБ 13-407-01. – СПб.: издательство ДЕАН, 2002. – 240 с.
- 46 Ефремовцев Н.Н. О некоторых результатах предварительных испытаний геляпора ГП-2У. Информ. бюллетень НОИВ, № 1(4) – М.: 2003, с.30-31.
- 47 Закон РФ от 20.03.1992 г № 2551-1 «О конверсии в оборонной промышленности в Российской Федерации».
- 48 Замышляев Б.В., Евтерев Л.С. Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред. – М.: Наука, 1990. 215 с.
- 49 Замышляев Б.В., Яковлев Ю.С. Динамические нагрузки при подводном взрыве. – М.: Судостроение, 1967.
- 50 Зольников Ю.Г., Желунин Ю.П., Иванов А.В., Драчев С.В., Гильманов Р.А., Франтов А.Е., Макаров А.В. Новые конструкции зарядов для горных работ //Сб. научных трудов Четвертой международной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород», М., ИПКОН РАН, 2005. – с.359-362.
- 51 Иванов А.В., Желунин Ю.П., Сысоев Н.И., Щукин Ю.Г., Франтов А.Е. Энергетические показатели дробления негабаритных кусков с использованием штатной и конверсионной взрывной техники. //Записки горного института. – 2001. –т.148(1). – с.189-192
- 52 Использование конверсионных ВВ для вторичного дробления горных пород (Научно-методические рекомендации), ИПКОН РАН, М.:2011
- 53 Казаков Н.Н. Объем зон нерегулируемого дробления. Сб. Взрывное дело № 91/48. – М.: 1998, с.31-35.
- 54 Казаков Н.Н., Закалинский В.М. О КПД взрыва.// Проблемы взрывного дела. Сб. статей и докладов №1. – М.: 2002, с.203.
- 55 Калашников В.В., Лаптев Н.И., Иванов А.В., Желунин Ю.П., Щукин Ю.Г., Франтов А.Е. Заряд для дробления негабарита // Сб. трудов. IV Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» КНИИМ-2000г., М., Изд. «Вооружение. Политика. Конверсия». 2001, с.217-222.
- 56 Каледина Н.О., Подображин С. Н. Роль системы подготовки инженеров в обеспечении безопасности горных производств // Горный информационно-аналитический бюллетень – М.: Изд. МГГУ, 2008, вып.6.
- 57 Коул Р. Подводные взрывы. – М.: ИЛ, 1950.

- 58 Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 423 с.
- 59 Кузнецов В.А. Прогнозирование грансостава взорванной массы на основе структурно-деформационного зонирования взрывааемых полигонов. Сб. Взрывное дело № 93/50. – М.: 2001, с. 47-55.
- 60 Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. – М.: Недра, 1980. – С. 250.
- 61 Кривошеев Н.А., Жегров Е.Ф. и др. Патент РФ № 2076089 от 30.08.1994 г. и патент РФ № 2026272 от 03.06.1991 г.
- 62 Крюков Г.М. Модель взрывного рыхления горных пород на карьерах. Выход негабарита. Средний размер кусков породы в развале / Приложение к горному информационно-аналитическому бюллетеню, Препринт. – М: МГГУ, 2006, 30с.
- 63 Крюков Г.М., Глазков Ю.В. Феноменологическая квазистатическо-волновая теория деформирования и разрушения материалов взрывом зарядов промышленных ВВ/ Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня № 11, Препринт. – М: МГГУ, 2003. – 67 с.
- 64 Куприненок В.М., Антонов Б.А. и др. Использование ВВ утилизируемых боеприпасов для получения конверсионных ВВ непосредственно в процессе расснаряжения. Записки Горного института. Т.148(1). С-Пб,2001.
- 65 Кутузов Б.Н. Взрывные работы. – М.: Недра, 1988. – 384 с.
- 66 Майнчен Дж., Сак Е. Метод расчета "ТЕНЗОР".//Сб.Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир, 1967.
- 67 Маслов Ю.И., Сивенков В.И., Ненахов И.А. Определение детонационных и энергетических характеристик ЭВВ Порэмита 1А в удлиненных и сосредоточенных зарядах. Сб. Взрывное дело, № 94/51. – М.: 2004, с.133-140.
- 68 Материалы 6-й международной научно-технической конференции. Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. – ФГУП КНИИМ, 2005, с.3-11.
- 69 Менжулин М.Г., Бровин В.Е. Энергетическая эффективность разрушения горных пород при взрыве взрывчатых веществ с различными детонационными характеристиками. Записки Горного института. Т. 171. – С-Пб.: СПГГИ, 2007. – С.121-125.
- 70 Методика выполнения измерений параметров воздушной ударной волны пьезоэлектрическим способом. – Войсковая часть 99795, 1986.
- 71 Методика выполнения измерений параметров подводных ударных волн пьезоэлектрическим способом. – Войсковая часть 99795, 1978.
- 72 Ненахов И.А. Сравнительная оценка работоспособности водно-гелевых и обычных гранипоров в обводненных условиях. Сб. Взрывное дело, № 94/51. – М.: 2004, с.155-161.

- 73 Новые промышленные взрывчатые вещества с повышенной объемной концентрацией энергии. – М.: ООО «ИНПФ «СТАЙЛЭС», 2003. – 6 с
- 74 Патент Японии №1243729 от 5.06.1969.
- 75 Патент США №3660181 от 2.05.1972.
- 76 Патент Великобритании №1307965 от 21.02.1973.
- 77 Патент Испании №3532525 от 19.03.1987.
- 78 Патент США №5608184 от 04.03.1997.
- 79 Патент США №5625409 от 29.07.1997.
- 80 Патент США №6110306 от 29.08.2000.
- 81 Патент США №6645325 от 11.11.2003.
- 82 Патент Франции №2839715 от 21.11.2003.
- 83 Патент (заявка на патент) США №2007251617 от 11.01.2007.
- 84 Петров Е.А., Петерс С.В. Разработка и исследование рецептуры угленита М. Сб. Взрывное дело, № 94/51. – М.: 2004. – с. 68-83.
- 85 Подводный взрыв. Гидродинамика. Под ред. Кедринского В.К. Изд. Сибирского отделения РАН, Новосибирск, 2002.
- 86 Постановление Правительства РФ от 25.05.1994г. № 548 «О федеральной целевой программе промышленной утилизации вооружения и военной техники на период до 2000 года».
- 87 Применение конверсионных взрывчатых веществ на открытых горных работах (Научно-методические рекомендации), ИПКОН РАН, М.:2011
- 88 Программа и методика предварительных испытаний ПМИ ГП-2. – М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2001.
- 89 Родионов В.Н., Адушкин В.В. и др. Механический эффект подземного взрыва. – М.: Наука, 1976. – 285 с.
- 90 Руднев А.Ю., Удовиченко В.П., Петров Е.А., Казутин М.В. Отработка методик определения работоспособности промышленных ВВ // Материалы и технологии XXI века. – М.: ИЭИ «Химмаш», 2000. – с.82-85.
- 91 Руководство по подрывным работам. – М.: Воениздат, 1969.
- 92 Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва. – М.: Наука, 1999.
- 93 Саламахин Т.М. Физические основы механического действия взрыва и методы определения взрывных нагрузок. – М.: ВИА им. В.В. Куйбышева, 1974.
- 94 Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1972 .
- 95 Субботин А.И., Перепелицын А.Н., Гаврилов Н.И. Основные проблемы взрывного дела и пути их решения. Концепция повышения безопасности и эффективности применения ВМ промышленного назначения в Российской федерации.// Всероссийская конференция «О состоянии взрывного дела в Российской федерации, Основные проблемы и пути их решения». Сб.докладов и статей. – М.: Издательство МГГУ, 2002, с.5

- 96 Тарасенко В.П. Физико-технические основы расчета зарядов на карьерах. – М.: МГИ, 1985. – 80с.
- 97 Техника открытых горных работ за рубежом. Под. ред. акад. Н.В.Мельникова. – М.: Госгортехиздат, 1962.
- 98 Трофимов А.В. и др. Патент РФ по заявке на изобретение № 2008128008
- 99 Физика взрыва: В 2 т. / Под ред. Орленко Л.П.. Изд. 3-е, испр. М.: Физматлит, 2004. Т.1. – 832с.
- 100 Фингер М., Ли Е. и др. Влияние элементарного состава на детонационные свойства ВВ. В сб. Детонация и взрывчатые вещества. М.: Мир, 1981.
- 101 Франтов А.Е. К вопросу оценки экономической эффективности применения конверсионных ВВ в процессах взрывных работ // Горный информационно- аналитический бюллетень. – 2012. №6. с.172.
- 102 Франтов А.Е. Особенности ведения взрывных работ с применением конверсионных ВВ в физико-химических и комбинированных // Горный информационно- аналитический бюллетень. – 2012.- №12.с.234.
- 103 Франтов А.Е. Взрывные работы в подземной физико-технической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ // Маркшейдерия и недропользование.-2012. №5.с.15-21.
- 104 Франтов А.Е., Демченко Н.Г. Методы кондиционирования конверсионных энергетических материалов для горной промышленности //Сб. научных трудов Четвертой международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород», М., ИПКОН РАН, 2005.-с.409-415.
- 105 Франтов А.Е., Мардасов О.Ф., Шалыгин Н.К., Северов А.Н., Соответствие номенклатуры конверсионных ВМ требованиям взрывных технологий в промышленности //В сб. Проблемы взрывного дела, №1-2002, МГГУ-НОИВ, М.,с.150-158.
- 106 Франтов А.Е., Применение конверсионных материалов в горнодобывающей промышленности //Сб. докладов. VI Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов». М., Изд. Дом «Оружие и технологии» 2005г.,с.243-247.
- 107 Франтов А.Е. Применение конверсионных ВМ в перспективных геотехнологиях // Сб. докладов VII Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» М., Изд. Дом «Оружие и технологии» 2007г.с.250-257.
- 108 Франтов А.Е. Рациональные параметры зарядов конверсионных ВМ // Труды XVIII Международной научной школы им. академика С.А.Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках».Симферополь, ТНУ им. В.И.Вернадского, 2008.-с.322-326

- 109 Франтов А.Е. Перспективы применения конверсионных взрывчатых материалов в комбинированной геотехнологии // Труды XX Международной научной школы им. академика С.А.Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И.Вернадского, 2012.-с.341-343.
- 110 Франтов А.Е., О взрывной эффективности конверсионных ВВ // Труды XX Международной научной школы им. академика С.А.Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И.Вернадского, 2012.-с.352-364.
- 111 Чернышов А.К., Левин Б.В., Конвисар Л.В. Аммиачная селитра и удобрения на ее основе. В сб. Вопросы техники безопасности, аварий на производстве, при хранении и транспортировке // М.: «ИНФОХИМ», 2003.
- 112 Шалыгин Н.К., Мацеевич Б.В. и др. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных(конверсионных) взрывчатых материалов. Записки Горного института. Т. 148(2). – С-Пб.: СПГИ, 2001. – С.111-116.
- 113 Шведов К.К. Современное состояние и проблемы использования энергии взрыва в горнодобывающей промышленности. //Четвертая международная научная конференция «Физические проблемы разрушения горных пород». Сб.трудов. – М.: Издательство ИПКОН РАН, 2005, с.51.
- 114 Шемякин Е.И. Волны напряжений при подземном взрыве // Сб. «Взрывное дело» №93/50. – М.: МВК по взрывному делу АГН, 2001, с. 4-12.
- 115 Шемякин Е.И. О разрушении горных пород в ближней зоне подземного взрыва // Сб. «Взрывное дело» №92/49. – М.: 1999, с.7-9.
- 116 Щукин Ю.Г., Вареничев А.А., Конев Н.И. Опыт применения промышленных ВВ, изготавливаемых на основе списанных боеприпасов. Сб. Взрывное дело № 91/48. – М.: 1998, с.129.
- 117 Щукин Ю.Г., Кутузов Б.Н., Мацеевич Б.В., Татищев Ю.А.. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизируемых боеприпасов. – М.: Недра, 1998.
- 118 Щукин Ю.Г., Франтов А.Е., Боев В.В., Телков В.И., Применение конверсионных ВМ на гранитном карьере «Микашевичи» и опыт использования механизированного заряжания гранипора // Материалы международной конференции «Взрывное дело-99». М. Изд. МГТУ, 1999. с.334-338.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Утверждаю

Генеральный директор

ООО «Промстройвзрыв»

В.М.Губайдуллин

2013г.

АКТ



о внедрении рекомендаций по применению гелепоров, разработанных в
диссертационной работе С.И.Дорошенко

**«ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
ГЕЛЕВЫМИ ВВ НА ОСНОВЕ УТИЛИЗИРУЕМЫХ БОЕПРИПАСОВ**

Промышленные испытания зарядов на основе гелепоров (ГП-Т, ГП-2) проводились на карьере ООО «КНИ-436» (поселок Пруды Ленинградской области) в 2012г.

Заряды гелепора использовались для разделки негабаритных блоков гранита. Граниты характеризуются крепостью по шкале профессора М.М.Протодяконова $f=16$ и X категорией крепости по СНиП-IV-5-82.

В период испытаний за 2012 год было взорвано более 6 тонн гелепора ГП-Т для разделки негабарита. По результатам испытаний общий удельный расход составил $1,17 \text{ кг/м}^3$, что в 2,2 раза меньше, чем при использовании аммонита 6ЖВ, и в 2,1 раза меньше, при использовании эмульсионного ВВ «Ярит».

Ожидаемый экономический эффект при постоянном применении может составить не менее 15 тыс.рублей на каждую тонну гелепора при разделке негабарита. При использовании гелепора в скважинных зарядах в качестве донных усилителей экономический эффект значительно возрастет.

Технический директор

Т.В.Васильев

Начальник участка взрывных работ

Н.А.Зарываев

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Завод по утилизации боеприпасов
Гефест-М»



В.М.Мытарев

января 2014г.

АКТ

о внедрении гелепоров, разработанных в диссертационной работе

С.И.Дорошенко

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
ГЕЛЕВЫМИ ВВ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ НА ОСНОВЕ
УТИЛИЗИРУЕМЫХ БОЕПРИПАСОВ

По заявке на патент РФ № 2011109392 от 14.03 2011г. на изобретение «Водосодержащий пороховой взрывчатый состав» предприятием ООО «Завод по утилизации боеприпасов Гефест-М» разработано ТУ-7276-001-11327508-2012.

По данному ТУ созданы 3 типа гелепоров :ГПС-1, ГПС-2 и ГПС-3. Основной компонентный состав гелепоров включает (%): пироксилиновый порох (17...50), аммиачную селитру (10...39) , гель ВИА (40) , алюминиевую пудру (4) , алюминий сернокислый или хромовокислые квасцы (0,2).

Заряды гелепора испытаны для решения задач горной промышленности. В период испытаний за 2013 год было взорвано более 100 килограмм гелепора .

По результатам испытаний выявлена перспективность применения гелепора при поведении специальных взрывных работ и , особенно , в подземных условиях. Ожидаемый удельный расход - в 2,5 раза меньше, чем при использовании аммонита 6ЖВ, и в 2,4 раза меньше, чем при использовании типовых эмульсионных ВВ . Ожидаемый экономический эффект при использовании гелепора в шпуровых и скважинных зарядах составит не менее 50 %.

Главный технолог

В.А.Стариков

**ГЛАВНОКОМАНДУЮЩЕМУ
ВОЕННО-ВОЗДУШНЫМИ СИЛАМИ
генерал-лейтенанту
Бондареву В.Н.**

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
авторского коллектива 1 командования ВВС и ПВО
на Государственную премию Российской Федерации имени маршала
Советского Союза Г.К. Жукова за разработку технологий утилизации
авиационных боеприпасов с истекшими сроками хранения в войсковых
условиях

За последние десятилетия в нашей стране произошли серьезные экономические и социальные преобразования, кардинально изменилось отношение к вопросам оснащения армии и флота всеми видами вооружений и военной техники, в том числе боеприпасами различного назначения, их хранения и содержания. Основной целью проводимых в течении последних двадцати лет реформы армии и флота ставилась задача по формированию современной и боеспособной армии, способной в кратчайшие сроки быстро и качественно выполнить поставленные перед ней руководством страны задачи.

В результате проведенного реформирования и перехода к новому облику Вооруженных сил, изменились их номенклатура, состав, структура, что привело в целом к уменьшению типов сохраняемых боеприпасов. В военном хозяйстве образовался большой объем избыточных боеприпасов, которые или намного превысили установленные сроки службы, или устарели по своим тактико-техническим характеристикам, что вызвано необходимостью их уничтожения.

С марта 2010 года войсковые части, входящие в состав 1 командования ВВС и ПВО, в соответствии с задачами, поставленными руководством Министерства обороны Российской Федерации и Западного военного округа (ранее - Ленинградского военного округа) непосредственно принимали участие в уничтожении боеприпасов с истекшими сроками хранения.

Разработанная и примененная авторским коллективом 1 Командования ВВС и ПВО технология утилизации боеприпасов с истекшими сроками хранения в войсковых условиях, основанная на комплексном подходе к вопросу утилизации не только позволила сэкономить значительные средства федерального бюджета, но и свести к минимуму возможные негативные последствия в вопросах уничтожения боеприпасов с истекшими сроками хранения.

Идея, войсковой утилизации, разработанная авторским коллективом, представляемая к награждению премией была реализована впоследствии в направлениях:

- передача боеприпасов, подлежащих утилизации в войсковых частях предприятиям промышленности на условиях полной самоокупаемости;

- уничтожение боеприпасов на площадках уничтожения методом сжигания, с использованием разработанных устройств;

- разработка метода применения авиационных бомб с истекшими сроками хранения, подлежащих безусловному уничтожению в качестве учебных бомб для реального бомбометания бомбардировочной авиацией при выполнении плана боевой подготовки.

Уничтожение гексогеносодержащих боевых частей большой мощности из комплекта ракет ЗРК и крылатых ракет изобретенных и внедренный способ утилизации – методом выжигания.

Основную проблему при утилизации боеприпасов с истекшими сроками хранения представляли авиационные патроны 23 и 30 мм и патроны к стрелковому оружию, при уничтожении которых методом взрыва возникал постоянный разброс после подрыва, как с применением накладных зарядов взрывчатых веществ (тротил), так и в ходе совместного уничтожения с авиационными боеприпасами (бомбами ОФАВ-250-270, БКФ, С-8).

Для решения задачи по уничтожению авиационных патронов 23 и 30 мм руководством 1 Командования ВВС и ПВО утвержденное командованием Ленинградского, а в последствии Западного военного округа, было принято решение о передаче утилизации авиационных патронов специализированным предприятиям, имеющим соответствующие сертификаты безопасности, в строгом соответствии с технологическими процессами с соблюдением мер взрыва, пожаро, и экологической безопасности.

К предприятиям промышленности предъявлялись следующие обязательные требования:

- наличие соответствующего сертификата безопасности;
- соответствие технологического процесса утилизации авиационных патронов 23 и 30 мм параметрам взрыва, пожаро и экологической безопасности;
- полная самокупаемость предприятий и отсутствие вложений средств федерального бюджета;
- оприходование полученных в результате утилизации материалов по рыночным ценам с проведением независимой оценки с целью исключения нанесения государству ущерба;
- обеспечение постоянного контроля со стороны заказчика.

Среди имевшихся предложений предприятий промышленности, которые готовы были выступить в качестве исполнителя в утилизации авиационных патронов 23 и 30 мм комиссионным голосованием было выбрано ООО «Самаравзрывтехнология» (г. Самара) с выполнением работ на фондах ОАО «6 Арсенал «Бурмакино» как наиболее приемлемое и максимально облегчающее задачу воинских частей при прочих равных условиях, с доставкой автомобильным транспортом предприятия исполнителя.

Впоследствии, в связи со значительным увеличением задачи по количеству утилизируемых авиационных патронов 23 и 30 мм, в качестве второго исполнителя было привлечено ООО «Гефест-М» (г. Реж Свердловской области).

Так, на предприятие НПП «Самаравзрывтехнология» и ОАО «6 Арсенал» было передано 64 918 штук боеприпасов калибра 23 мм и 420 934 штуки боеприпасов калибра 30 мм. Данные боеприпасы доставлялись автомобильным транспортом из Бурсово, Порхова и

Кочкомы за счет НПП «Самаравзрывтехнология». В соответствии со Справочником норм погрузки авиационных средств поражения в транспортные средства (Москва, Воениздат 2002 г.) в железнодорожный вагон при перевозке АСП помещается 816 ящиков с боеприпасами калибров 23 и 30 мм. В одном ящике находится 132 штуки авиационных патронов калибра 23 мм и 54 штуки авиационных патронов калибра 30 мм. Исходя из этого для доставки боеприпасов на площадки уничтожения, переданных для расснаряжения и совместной утилизации в НПП «Самаравзрывтехнология», МО РФ потребовалось бы 10 ж/д вагонов ($64\ 918/132 = 492$ ящика – около 0,5 ж/д вагона; $420\ 934/54 = 7\ 796$ ящиков – около 9,5 ж/д вагонов). Средняя приведенная стоимость перевозки одного вагона с взрывоопасными предметами составляет около 100 000 рублей, таким образом за перевозку 10 вагонов необходимо было бы заплатить не менее 1 000 000 рублей. Для полного уничтожения данных боеприпасов методом подрыва, исключения разлета фрагментов содержащих ВВ и представляющих угрозу жизни и здоровью личного состава необходимо укладывать заряды ВВ (200 гр. шашки ТНТ) из расчета 1 шашка на 2 боеприпаса. Исходя из этого для уничтожения 485 852 штук боеприпасов потребовалось бы 48,6 тонн ТНТ. При стоимости одной тонны ТНТ 150 000 рублей потребовалось бы 7 290 000 рублей бюджетных средств.

На предприятие ООО «Гефест-М» было передано 10 064 125 штук боеприпасов калибра 23 мм и 1 581 штука боеприпасов калибра 30 мм. Данные боеприпасы доставлялись ж/д транспортом с мест хранения (Брусово, Кочкома, Порхов, Н. Ингаш, Белебей, Буй) за счет ООО «Гефест-М». В соответствии со Справочником норм погрузки авиационных средств поражения в транспортные средства (Москва, Воениздат 2002 г.) в железнодорожный вагон при перевозке АСП помещается 816 ящиков с боеприпасами калибров 23 и 30 мм. В одном ящике находится 132 штуки авиационных патронов калибра 23 мм и 54 штуки авиационных патронов калибра 30 мм. Исходя из этого для доставки боеприпасов на площадки уничтожения, переданных для расснаряжения и совместной утилизации в ООО «Гефест», МО РФ потребовалось бы 94 ж/д вагонов ($10\ 064\ 125/132 = 76\ 244$ ящика – около 93,5 ж/д вагонов; $1\ 581/54 = 30$ ящиков – около 0,1 ж/д вагона). Средняя приведенная стоимость перевозки одного вагона с взрывоопасными предметами составляет около 100 000 рублей, то за перевозку 94 вагонов необходимо было бы заплатить не менее 9 000 000 рублей. В связи с тем, что часть боеприпасов после расснаряжения (около 20 ж/д вагонов) была направлена на полигоны МО РФ за счет Министерства обороны Российской Федерации, то в результате привлечения ООО «Гефест-М» к выполнению данных работ на перевозках ж/д транспортом было сэкономлено не менее 7 000 000. Для полного уничтожения данных боеприпасов методом подрыва, исключения разлета фрагментов содержащих ВВ и представляющих угрозу жизни и здоровью личного состава необходимо укладывать заряды ВВ (200 гр. шашки ТНТ) из расчета 1 шашка на 2 боеприпаса. Исходя из того, что большая часть данных боеприпасов (около 6 800 000 штук) была уничтожена на площадке и за счет предприятия экономия по ВВ составила около 102 000 000 рублей (необходимо 680 тонн ТНТ, при стоимости одной тонны ТНТ 150 000 рублей).

Привлечение к участию в утилизации авиационных патронов 23 и 30 мм вышеуказанных организаций, дало:

экономический эффект для Министерства обороны Российской Федерации, выразившийся в сокращении перевозок (экономия ресурса и топлива): 8 000 000 рублей;

экономический эффект для Министерства обороны Российской Федерации, выразившийся в экономии ВВ и СВ: 109 290 000 рублей;

Таким образом, предложенное и внедренное решение по передаче предприятиям в промышленную утилизацию боеприпасов калибра 23 мм и 30 мм позволило не только сэкономить 117 290 000 рублей средств федерального бюджета, которые должны были быть потрачены на организацию процесса утилизации в войсковых условиях, а еще принести в доход государства налоговых поступлений от предприятий более 14 000 000 рублей, оживить градообразующие предприятия малых городов России, вернуть в оборот сотни тонн цветного металла.

Вместе с тем, вопрос утилизации патронов к стрелковому оружию в связи с отсутствием экономической выгоды для промышленности (как в случае с авиационными патронами) оставался проблемным для уничтожения силами войсковых подразделений и сформированных нештатных рот и групп уничтожения по причине постоянного большого разброса после подрыва, отсутствием детонации при подрыве совместно с авиационными средствами поражения, большого количества боеприпасов и связанного с этим отрыва личного состава по поиску, сбору и повторному уничтожению.

При осуществлении утилизации патронов к стрелковому оружию путем подрыва, как с применением накладного заряда, так и подрыва совместно с авиационными средствами поражения вопрос сдачи цветных металлов, из которых состоят патроны к стрелковому оружию не рассматривался совсем.

Возникшие в ходе утилизации патронов к стрелковому оружию проблемы стали основанием к разработке комплексного подхода к их решению со стороны инженерной службы войск 1 Командования ВВС и ПВО. Основными задачами, которые необходимо было решить явились:

безусловное обеспечение безопасности личного состава, участвующего в уничтожении патронов к стрелковому оружию;

снижение количества применяемых СВ и ВВ при условии обеспечения полного уничтожения опасных факторов патронов к стрелковому оружию;

возврат в оборот лома цветных металлов.

Авторским коллективом в лице начальника инженерной службы войск 1 Командования ВВС и ПВО полковника Дорошенко Станислава Ивановича и командира 2488 отдельного инженерно-саперного батальона подполковника Телегина Юрия Александровича, была разработана, испытана и введена в действие «Установка для утилизации патронов стрелкового оружия», которая зарегистрирована Федеральной службой России по интеллектуальной собственности в качестве полезной модели за №111278 и включена в государственный реестр 10 декабря 2011 года.

За 2011 год на площадках уничтожения 1 К ВВС и ПВО методом сжигания было уничтожено 4 491 242 штук авиационных патронов калибра 12,7 мм различных модификаций;

За 2012 год на площадках уничтожения 1 К ВВС и ПВО методом сжигания было уничтожено 3 699 451 штук авиационных патронов калибра 12,7 мм различных модификаций;

В общей сложности за 2011 и 2012 года методом сжигания было уничтожено 8 190 693 штук. В штатной укупорке (цинке) размещается 80 штук авиационных патронов калибра 12,7 мм. Она имеет габаритные размеры по длине 36 см, по ширине 16 см. Исходя из того, что тротилловая шашка весом 200 грамм имеет размеры по длине 10 см, а по ширине 5 см, то в соответствии с «Методическим пособием о порядке проведения работ по уничтожению ракет и боеприпасов методом подрыва (сжигания)», утвержденным Начальником Генерального штаба ВС РФ – первым заместителем Министра обороны Российской Федерации 22 ноября 2011 года для уничтожения одной штатной укупорки (цинка) с боеприпасами калибра 12,7 мм необходимо использовать примерно 1 килограмм 800 грамм взрывчатых веществ (9 тротилловых шашек весом 200 грамм каждая).

В общей сложности за 2011 – 2012 года на площадках уничтожения 1 К ВВС и ПВО методом сжигания было уничтожено боеприпасов калибра 12,7 мм находящихся в 102 384 штуках штатных укупорках, для уничтожения которых методом подрыва потребовалось бы как минимум 184,3 тонн ВВ (ТНТ). Исходя из того, что стоимость 1 (одной) тонны ТНТ в настоящее время составляет 150 000 руб., то экономия бюджетных средств при внедрении данного метода уничтожения боеприпасов только по тротиллу составила 184,3 тонны x 150 000 руб. = 27 495 000 рублей.

В ходе реализации продуктов утилизации от уничтожения боеприпасов калибра 12,7 мм методом сжигания в виде смешанного лома цветных и черных металлов за 2011-2012 год в доход государства было перечислено 8 074 801,9 рублей.

С момента введения установки для утилизации патронов стрелкового оружия был достигнут следующий экономический эффект: экономия СВ и ВВ – 184,3 тонны на сумму 27 495 000 рублей;

сдано лома цветных металлов, на сумму 8 074 801,9 рублей

привлечено к изготовлению установки для утилизации патронов стрелкового оружия имущества выслужившего сроки эксплуатации и непригодное для дальнейшего использования по назначению, что позволило фактически привести стоимость установки без затрат средств федерального бюджета.

Одной из задач, поставленной войскам 1 Командования ВВС и ПВО при утилизации боеприпасов, являлось уничтожение авиационных бомб типа ФОТАБ. Вместе с тем, для уничтожения авиационной бомбы в соответствии с приложением 31 к «Наставлению по очистке местности (объектов) от взрывоопасных предметов для Вооруженных Сил Российской Федерации», утвержденному и введенному в действие приказом Министра обороны Российской Федерации от 27 июля 2011 года № 1200дсп для уничтожения авиационной бомбы калибра 100 мм масса накладного заряда взрывчатого вещества (ТНТ) должна составлять 0,6 кг. Подлежало уничтожению 20 350 штук авиационных бомб типа ФОТАБ-100-140 и ФОТАБ-250, для уничтожения которых потребуется 12,2 тонн тротила при цене 150 000 рублей за тонну, т.е. необходимы затраты около 1 830 000 рублей. Помимо этого доставка авиационных бомб на полигоны требовала расход бюджетных

средств из расчета: в соответствии со Справочником норм погрузки авиационных средств поражения в транспортные средства (Москва, Воениздат 2002 г.) в железнодорожный вагон при перевозке АСП помещается 78 штук авиационных бомб ФОТАБ-100-140. Для перевозки 20 350 штук авиационных бомб ФОТАБ-100-140 требуется 261 ж/д вагон. Средняя приведенная стоимость перевозки одного вагона с взрывоопасными предметами составляет около 100 000 рублей, то на перевозку 261 вагона необходимо было бы затратить не менее 26 100 000 рублей.

Разработанная авторским коллективом технология по применению авиационных бомб состоящая в следующем: авиационные бомбы вспомогательного назначения ФОТАБ-100-140, особенностью штатного срабатывания которых является подрыв в воздухе для обеспечения работы фото и видео регистрирующей аппаратуры в ночное время, путем вспышки. Проведены работы по переоборудованию данных авиационных бомб ФОТАБ контактными взрывателями авиационных бомб типа АТК-10ЭБ (АМБ-АЭ2), что обеспечило возможность применения данных авиационных бомб по земной (водной) поверхности, а как следствие применение их в процессе летной бомбардировочной подготовки летных экипажей, в условиях дефицита авиационных бомб калибра 100. В ходе исследовательской работы разработана и утверждена методическая схема выполнения полета на бомбометание авиационных бомб ФОТАБ-100-140, определены условия, параметры и особенности выполнения полетного задания.

На полигоне была проведена опытная утилизация данных боеприпасов с применением электродетонаторов эквивалентных контактному взрывателям, с целью проверки работоспособности и результатов воздействия авиационной бомбы на земной поверхности.

Были подготовлены опытные экипажи для проверки правильности расчетов при практическом применении АСП. По результатам их действия получен положительный опыт. Отработаны меры безопасности при выполнении полетного задания.

В настоящее время все экипажи СУ-24 авиационных частей 1 Командования ВВС и ПВО применяют в ходе летной подготовки авиационные бомбы ФОТАБ-100-140, подлежащие утилизации.

В связи с применением авиационных бомб ФОТАБ-100-140 в ходе бомбардировочной подготовки удалось сэкономить бюджетные средства на закупку учебных авиационных бомб из расчета: подлежало уничтожению 20 350 штук авиационных бомб. Стоимость одной бомбы 100 калибра для учебного процесса согласно Государственного контракта №379/3/8-ЕОЗ от 30.03.2009 года составляет 80 998,91 рублей. Таким образом удалось сэкономить 1 648 327 818,5 рублей бюджетных средств.

Данная разработка позволила не уничтожать подлежащие утилизации авиационные бомбы типа ФОТАБ-100-140 и ФОТАБ-250 и направить их на повышение уровня бомбардировочной подготовки летных экипажей ВВС. Как результат экономический эффект данной разработки для государства составляет 1 676 257 818 (один миллиард шестьсот семьдесят шесть миллионов двести пятьдесят семь тысяч восемьсот восемнадцать) рублей.

На складах и базах 1 Командования ВВС и ПВО, Балтийского флота подлежали утилизации боевые части ракет ЗРК и крылатых ракет. В связи с большой мощностью которых (до 2-ух тонн в тротиловом эквиваленте) возможности по утилизации их методом подрыва в европейской части России отсутствуют. Неудовлетворительное состояние штатной тары (1958-1960 гг. изготовления) не позволяло произвести отгрузку боеприпасов, для их уничтожения в других регионах. В связи с длительными сроками хранения тексогеносодержащих взрывчатых веществ и вмонтированными в корпуса боевых частей взрывателями, которые по конструкции извлечению не подлежали, транспортировка данных боеприпасов была крайне опасна.

Авторским коллективом в лице начальника инженерной службы войск 1 Командования ВВС и ПВО полковника Дорошенко Станислава Ивановича и командира 2488 отдельного инженерно-саперного батальона подполковника Телегина Юрия Александровича, был разработан и внедрен способ утилизации боеприпасов, зарегистрированный Федеральной службой России по интеллектуальной собственности в качестве Патента на изобретение за №2282137 и включенный в государственный реестр 20 августа 2006 года, который позволил провести работы по утилизации около 10 000 штук боевых частей методом выжигания на площадках уничтожения 1 Командования ВВС и ПВО, что в свою очередь позволило сэкономить бюджетные средства на изготовлении тары для данных боеприпасов и на перевозках данных боеприпасов к местам уничтожения.

Во исполнение статьи 4 ФЗ «Об увековечивании Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941 -1945 годов» Указом Президента Российской Федерации от 28 октября 1996 года №1499 (с последующими изменениями и дополнениями) утверждено Положение о Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова (далее - Положение).

Подпунктом «Б» статьи 1 Положения предусмотрено присуждении Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова (далее - Премия) в области создания вооружения и военной техники, в частности за разработку технологий промышленного производства с показателями не ниже мирового уровня.

Разработанная авторским коллективом, в составе:

- Первый Заместитель Министра обороны РФ генерал-армии Бахин Аркадий Викторович;
- Главнокомандующий Военно-воздушными силами Российской Федерации генерал-лейтенант Бондарев Виктор Николаевич;
- Командующий войсками 1 Командования ВВС и ПВО генерал-майор Макушев Игорь Юрьевич;
- Заместитель командующего войсками 1 Командования ВВС и ПВО генерал-майор Нерестюк Игорь Михайлович;
- Начальник инженерной службы войск 1 Командования ВВС и ПВО полковник Дорошенко Станислав Иванович;
- Командир 2488 отдельного инженерно-саперного батальона подполковник Телегин Юрий Александрович;

- бывший помощник Командующего войсками 1 Командования ВВС и ПВО по правовой работе подполковник Ищенко Сергей Витальевич;

- Начальник службы авиационного вооружения (управления МТО ВВС) ГК ВВС полковник Королев Анатолий Николаевич;

является новыми промышленными технологиями утилизации патронов к стрелковому оружию, и утилизации боевых частей ракет ЗРК и крылатых ракет не имеет аналогов и при минимальных затратах, изготовление дает быструю самоокупаемость, позволяет сохранить и вернуть в оборот ломы цветных металлов, безопасна и быстро осваивается личным составом для эксплуатации. Технология переоборудования и методика применения вспомогательных авиационных бомб ФОТАБ в учебных целях авиационных экипажей, так же проста и позволяет применять для переоборудования уже имеющимся в достаточном количестве взрыватели позволяет в короткие сроки подготовить экипажи и инженерный состав к особенностям их применения. Впервые в стране применен комплексный метод утилизации авиационных патронов 23 и 30 мм подлежащих уничтожению с привлечением промышленности на этапы работ при полной самоокупаемости в рамках действующей лицензии 2488 отдельно инженерно-саперного батальона по утилизации боеприпасов №4732-Б-БП-У выданной Агентством по промышленности 07 июня 2007 года.

Прошу Вашего решения о представлении данного материала в комиссию по Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, созданной в Министерстве обороны Российской Федерации, для принятия решения о присвоении Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова разработчикам указанных технологий:

- Первый Заместитель Министра обороны РФ генерал-армии Бахин Аркадий Викторович;

- Главнокомандующий Военно-воздушными силами Российской Федерации генерал-лейтенант Бондарев Виктор Николаевич;

- Командующий войсками 1 Командования ВВС и ПВО генерал-майор Макушев Игорь Юрьевич;

- Заместитель командующего войсками 1 Командования ВВС и ПВО генерал-майор Нерестюк Игорь Михайлович;

- Начальник инженерной службы войск 1 Командования ВВС и ПВО полковник Дорошенко Станислав Иванович;

- Командир 2488 отдельного инженерно-саперного батальона подполковник Телегин Юрий Александрович;

- бывший помощник Командующего войсками 1 Командования ВВС и ПВО по правовой работе - начальник юридической службы подполковник юстиции Ищенко Сергей Витальевич;

- Начальник службы авиационного вооружения (управления МТО ВВС) ГК ВВС полковник Королев Анатолий Николаевич;

Приложение:

1. Сводная таблица экономических результатов, на 1-листе.
2. Копия рапорта начальника инженерной службы 1 Командования ВВС и ПВО от 12.04.2010 года, на 1-листе.

3. Копия решения Командующего войсками 1 Командования ВВС и ПВО на утилизацию от 19.04.2010 года, на 5-листах.
4. Копия рапорта начальника инженерной службы 1 Командования ВВС и ПВО от 16.07.2010 года, на 1-листе.
5. Копия письма директору ООО «Самаравзрывтехнология» от 04.05.2010 года, на 1-листе.
6. Копия доклада ВРИД начальника тыла ВВС от 06.08.2010 года, на 3-листах.
7. Копия телеграммы ВРИД начальника штаба Западного военного округа от 09.03.2011 года, на 1-листе.
8. Копия патента на полезную модель №111278, на 1-листе.
9. Копия благодарственного письма Главы Администрации Режского городского округа.
10. Копия благодарности главы Режского городского округа.
11. Копия благодарности Администрации Некрасовского муниципального района Ярославской области.
12. Справка о стоимости одной авиационной бомбы.
13. Справка о наличии ФОТАБ -100-140, подлежащих уничтожению.
14. Копия патента на способ утилизации боеприпаса №2282137, на 1-листе.
15. Доклад командующего 1К ВВС и ПВО главнокомандующему ВВС по возможностям применения авиационных бомб ФОТАБ 30 сентября 2012 года, на 2-листах.
16. Копия акта о результатах выполненных работ по опытной утилизации ФОТАБ 100-140 в районе площадки уничтожения на 111 авиационном полигоне Кингисепп утвержденный 30 июня 2012 года.
17. Методическая схема выполнения полета на бомбометание с ГП, применительно к авиабомбе ФОТАБ-100-140 утверждена 17 сентября 2012 года.
18. Копия материалы по оплате лома смешенных цветных металлов полученных от утилизации крупнокалиберных патронов, на 2-листах.
19. Еженедельный выпуск № 58 (26033) газеты «Красная звезда» за 4-10 апреля 2012 года (см. стр.8).



КОМАНДУЮЩИЙ ВОЙСКАМИ 1 КОМАНДОВАНИЯ
ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛ И ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ
генерал - майор

И. Макушев

Сводная таблица экономических результатов

Решаемая проблема утилизации боеприпасов	Способ решения	Экономические результаты в рублях			
		Экономия бюджетных средств на перевозках	Экономия на материальном обеспечении	Поступление денежных средств в бюджеты	Всего экономия
Опасный разлет снарядов при уничтожении авиационных патронов калибра 23 и 30 мм	Привлечение соисполнителей для комплексной утилизации на предприятиях промышленности	9 000 000	109 920 000	14 000 000	132 290 000
Разлет и неполное уничтожение зажигательных зарядов пуль при утилизации крупнокалиберных патронов 12,7; 14,5 мм	Изобретение и внедрение установки по сжиганию патрон		27 495 000	8 074 801-90	35 569 801-90
Утилизация вспомогательных бомб ФОТАБ	Переоборудование авиационных бомб, исследовательская работа по разработке методики применения	26 100 000	1 650 157 818-50		1 676 257 818-50
Утилизация гексогеносодержащих боевых частей ракет ЗРК, крылатых ракет и торпед большой мощности со вставленными детонаторами, отсутствие тары	Изобретение и внедрение способа утилизации методом выжигания	Не рассчитывались в связи с отсутствием информации о ценах на изготовление тары старого образца			
Итого:		35 100 000	1 786 942 818-50	22 074 801-90	1 844 117 620-40
один миллиард восемьсот сорок четыре миллиона сто семнадцать тысяч шестьсот двадцать рублей сорок копеек					