

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук
(ИГД УрО РАН)

На правах рукописи

РУССКИХ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ
СНИЖЕНИЕ ПЕРЕИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ
(НА ПРИМЕРЕ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

Специальность 2.8.6 - Геомеханика, разрушение пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Корнилков Сергей Викторович

Екатеринбург – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АДАПТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ АСБЕСТА ПАО «УРАЛАСБЕСТ».....	10
1.1. Анализ влияния меняющихся горно-геологических условий разработки на технологию взрывного разрушения локальных массивов.....	10
1.2 Анализ практики ведения взрывных работ.....	18
1.3 Анализ теоретических положений разрушения горных пород.....	35
1.4 Выводы по главе.....	46
2. АНАЛИЗ ОБЩИХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУРОВЗРЫВНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА.....	50
2.1 Ретроспективный анализ показателей буровзрывных работ как объекта исследования.....	50
2.2 Анализ основных достигнутых технико-экономических показателей буровзрывных работ.....	60
2.3 Особенности взрывных работ при использовании эмульсионных взрывчатых веществ.....	66
2.4.Экспресс-метод определения дробимости пород и линии сопротивления по подошве с использованием молотка Шмидта.....	75
2.5.Выводы по главе.....	83
3. УПРАВЛЕНИЕ ВЗРЫВНЫМ РАЗРУШЕНИЕМ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ АСБЕСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	88
3.1 Анализ организационно-технических факторов, влияющих на качество взрывной подготовки массива.....	88
3.2 Исследование и апробация технологии разрушения обводнённых массивов рассредоточенными скважинными зарядами ЭВВ с использованием специальных затворов и заглушек.....	95
3.3 Управление энергией взрывного разрушения зарядами ЭВВ с добавлением в эмульсию ингибиторов	

хризотилового волокна и NaCl.....	104
3.3.1 Основные методы регулирования чувствительности	
ЭВВ.....	104
3.3.2 Использование волокон хризотила.....	107
3.3.3. Использование хлорида натрия.....	116
3.4 Выводы по главе.....	123
4. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ	
ХАРАКТЕРИСТИК ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ.....	131
4.1 Требования к рецептурам ЭВВ и текущему контролю	
готовой продукции.....	131
4.2 Исследование свойств и характеристик ЭВВ (матрицы)	
по методике ООН.....	141
4.2.1 Испытание 8а для определения теплоустойчивости.....	141
4.2.2 Ударное испытание для определения чувствительности	
к сильному удару (передача детонации	
через зазор).....	144
4.2.3 Испытание 8с для определения чувствительности	
вещества к воздействию интенсивного	
нагревания.....	147
4.2.4 Испытание 8 d для оценки пригодности эмульсии	
«Порэмит 1А» веществ к перевозке	
в цистернах.....	150
4.3 Экспресс-методика определения свойств и характеристик эмульсионных	
взрывчатых веществ,изготовленных вблизи мест их	
применения.....	154
4.4 Выводы по главе.....	164
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	167
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	173

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. С ростом глубины карьеров изменяются физико-механические свойства горных пород, увеличивается их крепость и обводнённость, что предъявляет высокие требования к технологии разрушения массивов взрывным способом, который является одним из наиболее дорогостоящих технологических процессов. Доля затрат на буровзрывные работы в условиях глубоких карьеров достигает в себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого 30-35% и имеет тенденцию к дальнейшему росту.

С конца XX века широкое применение нашли эмульсионные взрывчатые вещества, изготавливаемые на горных предприятиях вблизи мест их применения. Достигнут существенный прогресс в развитии рецептурного состава эмульсионных ВВ, средств инициирования зарядов, технологии и комплексной механизации взрывных работ.

Существующие в ПАО «Ураласбест» параметры буровзрывных работ, обеспечивающие высокое качество взрывания, тем не менее допускают возможность переизмельчения разрушенной горной массы, что в ряде случаев ведет к потерям полезного материала, особенно при диверсификации производства и реализации принципов комплексного использования недр.

Переизмельчение, особенно в осенне-весенний период, ведет к повышению влажности руды, поэтому при подготовке к пневматическому обогащению требуется повышенный расход газа для ее предварительной сушки. При производстве теплоизоляционных материалов из пород Баженовского месторождения, а также строительного щебня различных марок переизмельчение взрывом ведет к увеличению потерь природного сырья.

Как показывает практика применительно к специфическим условиям разработки месторождений при добыче асбестовых руд не все апробированные способы управления энергией взрыва могут быть

эффективно использованы. В этой связи изыскание новых способов управления энергией взрыва с целью является актуальной задачей.

Тема исследований соответствует направлению исследований, указанных в паспорте научной специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», а именно: 9. Развитие теории и разработка способов и средств разрушения и предразрушения горных пород механическими, взрывными, гидравлическими, тепловыми, электрофизическими, комбинированными и другими воздействиями.

Целью работы Целью работы является разработка уточненной методики обоснования параметров взрывного разрушения пород для достижения рациональной степени дробления руд и скальных пород при комплексном использовании недр.

Идея работы Идея работы заключается в комплексном учете совокупности технологических требований к процессу бурения и заряжания скважин, а также способов контроля характеристик эмульсионных взрывчатых веществ при подготовке технологических взрывов на асбестовых карьерах.

Объект исследования – **Объект исследования** – технология буровзрывных работ при разрушении руд и пород на сложноструктурном месторождении хризотил-асбеста.

Предмет исследования – параметры буровзрывных работ, обеспечивающие снижение переизмельчения горной массы, безопасность, составы и вариабельность характеристик эмульсионных ВВ в процессе заряжания взрывных скважин.

Задачи исследований:

1. Анализ и прогнозирование изменения горно-геологических условий ведения горных работ и показателей буровзрывного комплекса в динамике разработки асбестовых месторождений.

2. Изучение и оценка прочностных свойств горных пород как основы для адаптации параметров взрывных работ при установленных требованиях к качеству дробления.
3. Совершенствование эффективного использования эмульсионных ВВ местного изготовления на основе исследования их свойств и характеристик.
4. Разработка уточненной методики обоснования параметров БВР на основе исследования способов повышения качества подготовки породных массивов, при разрушении пород с меняющимися физико-механическими свойствами.
5. Опытнo-промышленная оценка предложенных способов, технических и технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности и безопасности буровзрывного комплекса.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Общий тренд изменения предела прочности пород на сжатие от величины отскока бойка молотка Шмидта сохраняется для различных литотипов: габбро, празиниты, магматические породы и серпентиниты и позволяет получить зависимости, характеризующие расчетную взаимосвязь размеров ЛНС.
2. При взрывной подготовке массива сокращение доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% достигается комплексным управлением энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием пневматических затворов и заглушек технологических перебуров рекомендованной конструкции. Дальнейшее сокращение доли мелких фракций до уровня 23,3-31,3% обеспечивается введением в раствор ЭВВ 11% поваренной соли.
3. Оценку качества изготавливаемых ЭВВ в период подготовки технологических взрывов рекомендуется основывать на разработанной методике оперативного определения плотности ЭВВ и

высоты колонки скважинных зарядов.

Научная новизна исследования заключается в:

- получении зависимостей, характеризующих расчетную взаимосвязь предела прочности пород на сжатие и размеров ЛНС от величины отскока бойка молотка Шмидта;
- обосновании экспресс-метода оперативного определения плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов в период подготовки технологических взрывов;
- экспериментальной оценке способов управления энергией взрывного разрушения горных пород зарядами ЭВВ, основанных на добавлении ингибиторов из хризотилового волокна, а также введении хлорида натрия в раствор окислителя матрицы порэмита взамен части аммиачной селитры;
- определении соответствия матрицы Порэмита 1А требованиям ООН, что обеспечивает ее безопасное использование.

Практическая значимость исследования состоит в:

- разработке уточненной методики расчёта параметров БВР, обеспечивающих снижение переизмельчения горной массы;
- оцененных способах эффективности управления энергией взрывного разрушения скальных массивов горных пород зарядами ЭВВ с добавлением ингибиторов хризотилового волокна и хлорида натрия (NaCl);
- сокращении доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% за счет комплексного управления энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием пневматических затворов и заглушек рекомендованной конструкции;
- стабилизации плотности ЭВВ и пределов её варьирования в процессе заряжания скважин на базе созданной передвижной лаборатории.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью постановки задач и применяемых методов исследования, в том числе натуральных, представительностью исходных и статистических данных опытных промышленных взрывов, основывается на апробированных положениях теории взрывного разрушения горных пород и подтверждается сходимостью теоретических выводов и практических рекомендаций.

Реализация результатов исследования. Разработанные методики, обеспечивающие снижение некондиционной фракции (0-100мм), сокращение затрат на подготовку горной массы к выемке и организацию контроля и устранения колебаний плотности ЭВВ при изготовлении взрывчатой смеси в процессе заряжания скважин для более равномерного дробления пород используются при ведении горных работ в ПАО «Ураласбест».

Личный вклад автора состоит в постановке задач исследования, разработке и обосновании основных параметров бурения и взрывания при обеспечении эффективного использования ЭВВ для снижения переизмельчения горной массы при производстве технологических взрывов, а также разработке организационных мероприятий, реализующих снижение затрат и повышение экономической эффективности буровзрывного комплекса при эксплуатации Баженовского месторождения хризотил – асбеста.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: XIII-XVI Международных научно-технических конференциях «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Чтения памяти В. Р. Кубачека», (Екатеринбург, 2015-19 гг.), научно-технических конференциях «Технология и безопасность взрывных работ» в рамках Уральского горнопромышленного форума, (Екатеринбург, 2012-2022гг.), Уральском горнопромышленном съезде (Екатеринбург, 2011г.), а также научных семинарах ИГД УрО РАН и технических совещаниях АО «Ураласбест».

Методы исследований: использован комплексный подход, включающий экспериментальные исследования свойств горных пород в естественном залегании, фактических параметров сетки и глубины скважин и размещения зарядов ВВ, теоретическое и экспериментальное изучение свойств и взрывчатых характеристик эмульсионных ВВ местного изготовления, регрессионный и корреляционный анализ, методы теории вероятностей и математической статистики, метод натурных наблюдений, методы технико-экономического анализа.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 16 работах, в том числе 6 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, является соавтором 3 патентов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 187 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунка, 31 таблицу, список литературы из 131 наименования. Автор чтит память профессоров Корнилова М.В. и Латышева О.Г., под руководством и при консультациях которых был выполнен значительный объем представленных исследований.

1. АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АДАПТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ АСБЕСТА ПАО «УРАЛАСБЕСТ»

1.1 Анализ влияния меняющихся горно-геологических условий разработки на технологию взрывного разрушения локальных массивов

Сырьевой базой для крупнейшего объединения России по добыче, переработке и обогащению асбестовых руд ПАО «Ураласбест», является сложноструктурное Баженовское месторождение, приуроченное к массиву ультраосновных пород, имеющему линзообразную форму и вытянутому в длину на 30 км при ширине от 1,1 до 3,5 км [12].

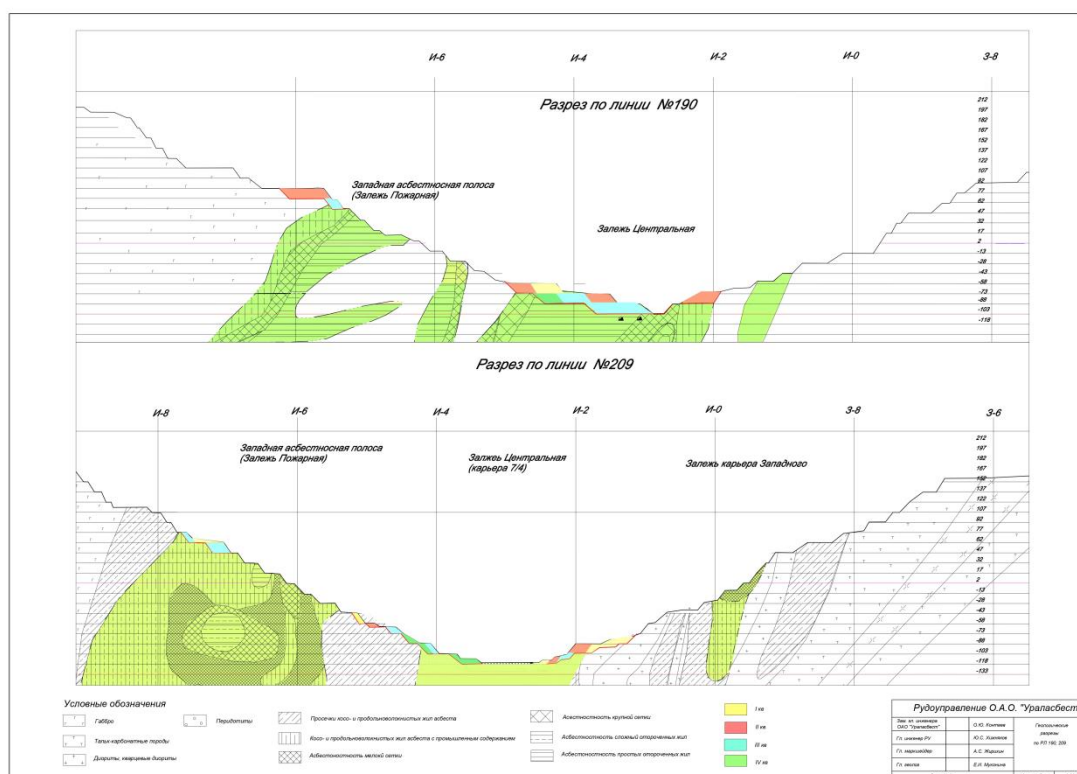


Рисунок 1.1 – Поперечный разрез карьера ПАО «Ураласбест» по линиям 190 и 209, Центральный участок

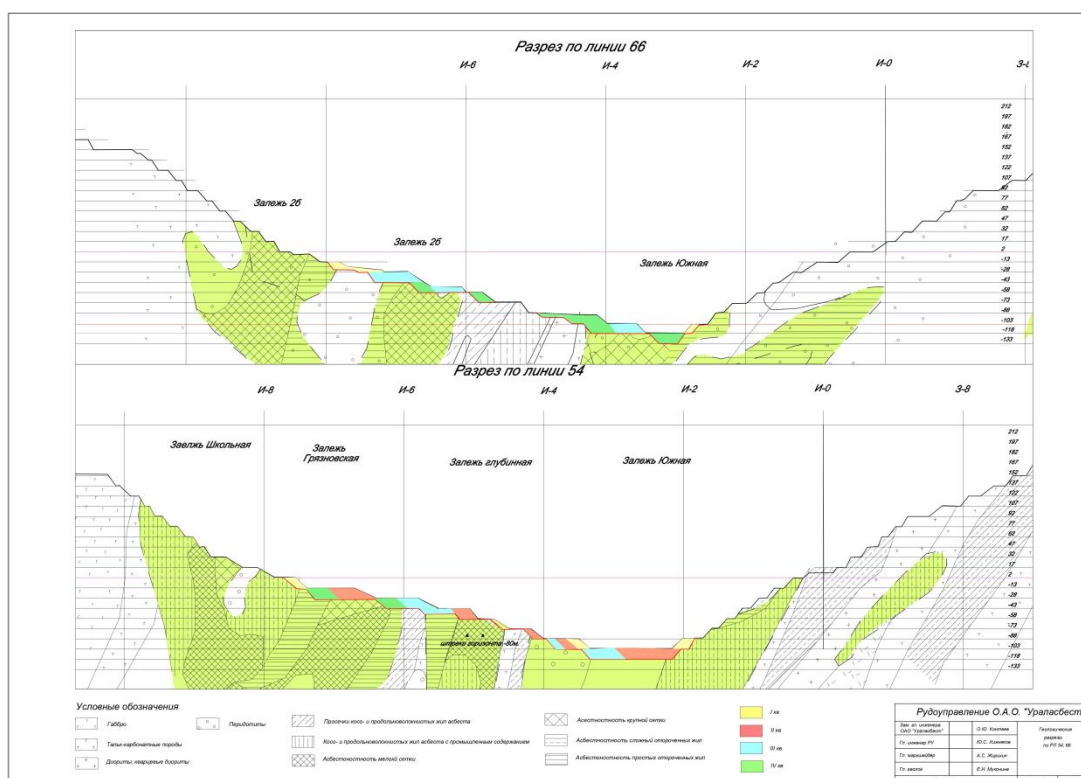


Рисунок 1.2 – Поперечный разрез карьера ПАО «Ураласбест» по линии 66 и 54, Южный участок

С севера и запада к массиву ультраосновных пород примыкают габбро, а с востока и юга – граниты. Вдоль контакта ультраосновного массива с габбро и гранитами развиты мощные полосы тальк - карбонатных пород и серпентинитов.

Массив ультраосновных пород представлен перидотитами, пироксенитами, дунитами и другими метаморфическими производными. Наряду с выше упомянутым, встречаются дайки диоритов и диабазов.

Месторождение характеризуется разнообразием типов руд по фракционному составу волокон. Строение асбестовых залежей зональное.

Коэффициент крепости руд и пород по шкале проф. М.М. Протодяконова изменяется от 2 до 13 единиц, а объемная масса варьирует от 2,5 до 3,1 т/м³.

Классификация пород и руд месторождения по крепости, трещиноватости и взрываемости представлена в таблице 1.1.

К группе скальных пород относятся габбро, перидотиты, диориты, серпентиниты. Из них наибольшее распространение на месторождении имеют серпентиниты и перидотиты. Асбестовые руды месторождения представлены серпентинитами плотными, серпентинитами из зоны мелкой сетки, серпентинитами с продольно-волокнистым асбестом, серпентинитами весьма плотными, перидотитами из зоны отороченных жил асбеста, серпентинитами из зоны крупной сетки. [12]

Важными факторами, влияющими на взрываемость и устойчивость горных массивов, при отработке месторождения считается степень трещиноватости, ориентировка систем трещин, разбивающих массив на отдельные блоки, сложная структура локальных массивов и многосортность руд. Типовым проектом производства буровзрывных работ на карьерах ПАО «Ураласбест» принята следующая классификация руд и пород по взрываемости, крепости и трещиноватости, представленная в таблицах 1.1, 1.2.

Таблица 1.1 – Классификация пород Баженовского месторождения по трещиноватости и взрываемости

№ п/п	Наименование пород	Степень взрывае- мости	Коэффи- циент крепости пород	Категория трещино- ватости	Средний диаметр отдель- ности, м	Категория взрывае- мости
1	2	3	4	5	6	7
1	Серпентиниты выветрелые, оталькованные, сильно рассланцованные, песчано-глинистые отложения	Легко- взрываемые	5 – 6	I	до 0,1	I

Продолжение таблицы 1.1

2	Серпентиниты рассланцованные	Средне- взрывааемые	6	II - III	0,1-0,5	II
3	Тальк-карбонатные породы, плотные серпентиниты, серпентиниты: из зоны мелкой сетки, с продольноволокнистым асбестом, габбро, выветрелые перидотиты	Трудно- взрывааемые	6 - 8	III - IV	0,5-1,0	III
4	Перидотиты: весьма плотные, из зоны отороченных жил; серпентиниты, в т.ч. из области крупной сетки	Весьма трудно- взрывааемые	8 – 10	IV - V	1,0-1,5	IV
5	Диориты, мелкозернистые граниты и габбро, весьма плотные перидотиты	Исключи- тельно трудно- взрывааемые	11 – 13	V	1,5	V

Таблица 1.2 – Классификация пород Баженовского месторождения по крепости

№ п/п	Категория пород	Степень крепости	Наименование пород	Группа пород по СНиП	Коэф крепости по Прото- дьяконову
1	2	3	4	5	6
1	II	Очень крепкие	Незатронутые выветриванием очень прочные граниты, диориты и габбро	1X	13 – 12

Продолжение таблицы 1.2

2	IIa	Очень крепкие	Незатронутые выветриванием очень прочные граниты, перидотиты и габбро	IX – VIII	12 – 11
3	III	Крепкие	Дуниты, перидотиты с отороченными жилами асбеста, серпентиниты с ядрами перидотита из зоны крупной сетки	VIII	11 – 10
4	IIIa	Крепкие	Габбро, затронутые выветриванием	VII	9 – 8
5	IV	Довольно крепкие	Серпентиниты, серпентиниты с продольно-волокнистым асбестом из зоны мелкой сетки	VI	6 – 5
6	IVa	Довольно крепкие	Дуниты выветрелые, талько-карбонатные породы	V	5 – 4
7	V	Средние	Серпентиниты выветрелые	IV	4 – 3
8	VI	Довольно мягкие	Серпентиниты магнетизированные, оталькованные	IV	3 – 2

Тектоника месторождения чрезвычайно сложна, поскольку в массиве широко развиты нарушения разрывного характера – разломы. Параметры зон разломов варьируют от нескольких до 100-150 м и более, протяженность по простиранию достигает 10-15 км, а падение их изменяется от пологого до вертикального. Все породы месторождения характеризуются системой многочисленных трещин с различными азимутами простирания и падением от 0 до 90 градусов.

Анализ данных, представленных в таблицах 1.1 и 1.2 свидетельствует, что категория горных пород по трещиноватости колеблется от I до V, по буримости изменяется от VIII до XIX, по взрываемости варьирует от I до V. Коэффициент крепости руд и пород вскрыши по шкале профессора

М.М. Протодяконова изменяется от 2 до 13 единиц, а объёмная плотность варьирует в пределах от 2,5 до 3,1 т/м³. Коэффициент разрыхления горных пород взрывом варьирует в пределах 1,2-1,6. [12]

По сложности инженерно-геологических условий Баженовское месторождение относится к категории средней сложности, приуроченное преимущественно к группе скальных пород, к которой относятся: габбро, перидотиты, диориты, серпентиниты, пироксениты.

Доля обводненных массивов на месторождении достигает 90-100%.

По степени водообильности породы подразделяются на 3 категории:

- водонепроницаемые, к которым относятся перидотиты и тальковые сланцы;
- слабо-водообильные, к ним относятся серпентиниты;
- водообильные породы представлены диорит-аплитовыми дайками. [12]

На рисунке 1.3 и в таблице 1.3 приведены объёмы выемки скальных пород и руд Баженовского месторождения за период 15 лет.

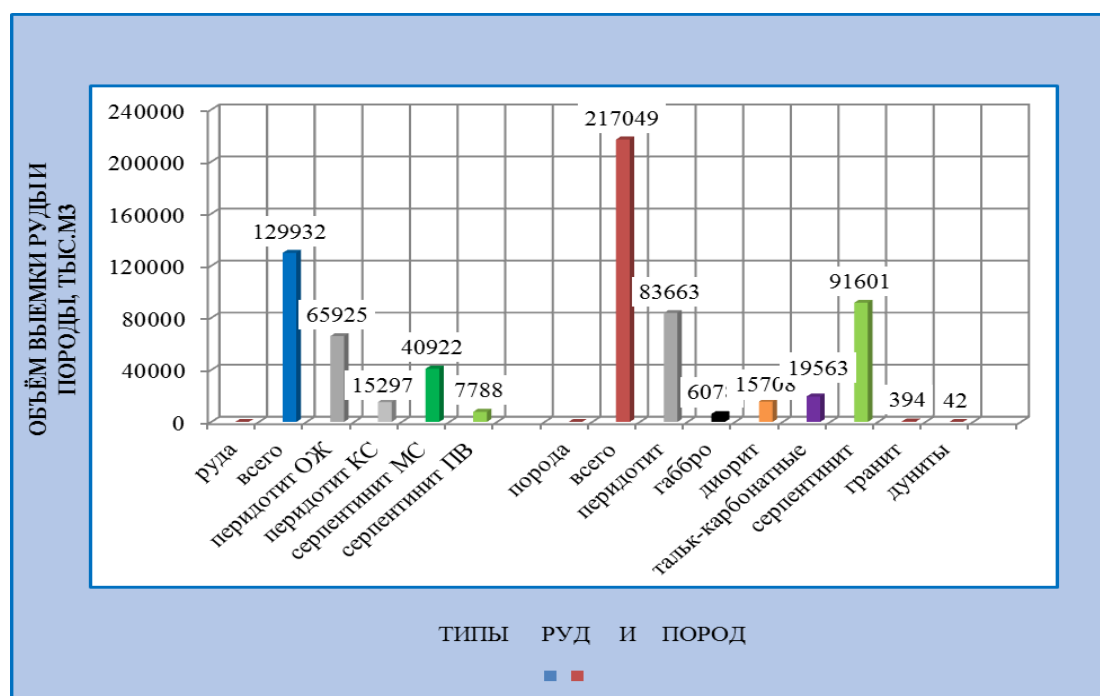


Рисунок 1.3 – Объёмы выемки руд и пород по видам на карьерах ПАО «Ураласбест» за 2000-2015 годы

Таблица 1.3 – Соотношение объёмов выемки скальных пород и добычи асбестовых руд (в период 2000-2015 гг.)

Вид горной массы	Объём выемки тыс. м ³ / %	III категория	IV категория	V категория
Скальные породы	205021 / 100	88286 / 43,0	19017 / 9,3	97718 / 47,7
в т.ч. руда	120919 / 100	44991 / 37,2	13625 / 11,3	62303 / 51,5

Динамика соотношения доли трудновзрываемых пород во времени разработки по их видам приведена на рисунке 1.4.

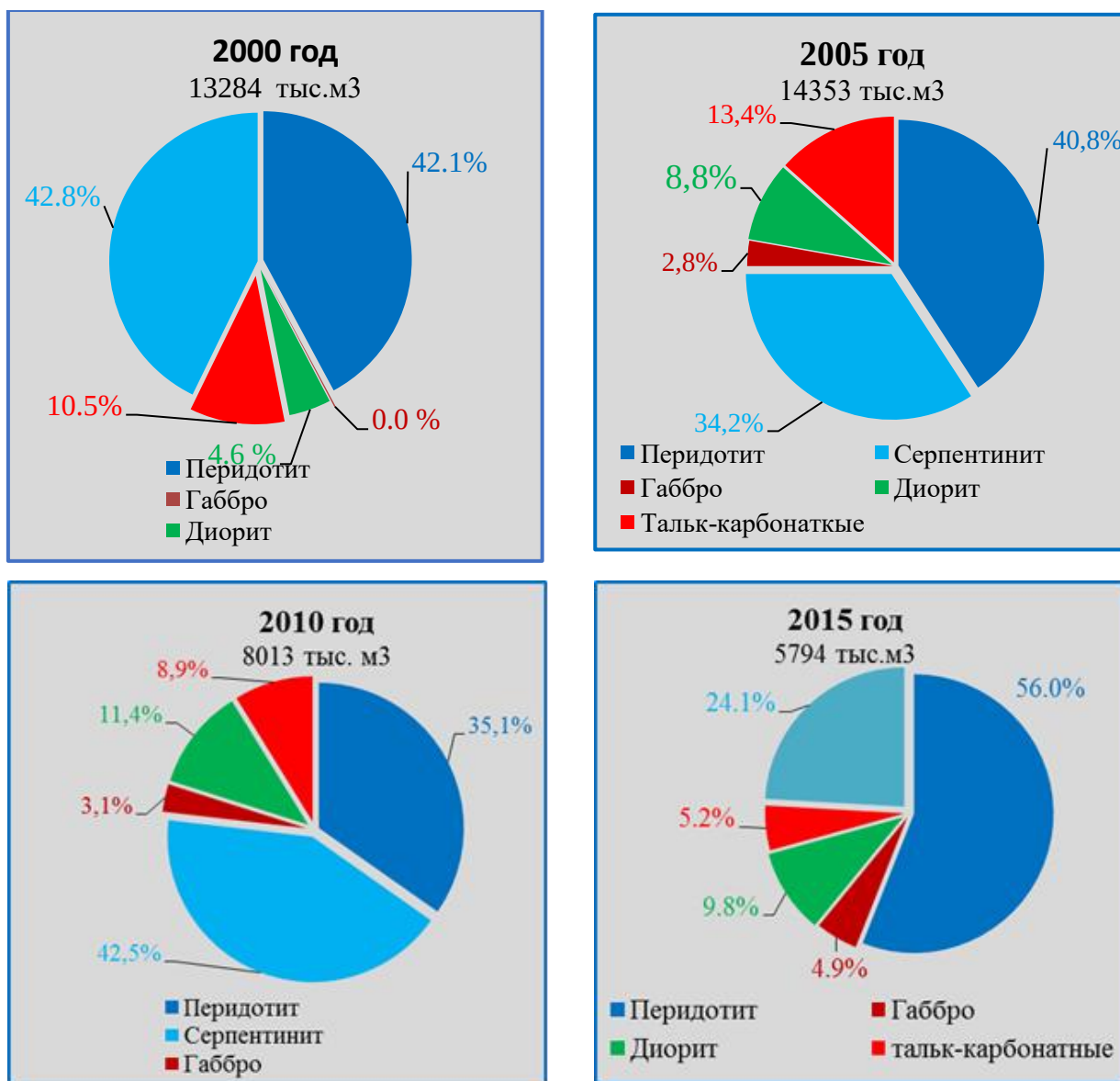


Рисунок 1.4 – Динамика объёмов и структура выемки скальных пород

Анализ структуры объёмов выемки горной массы на карьерах свидетельствует, что взрывание по крепким породам IV и V категорий составляет более половины (57%) от общего объёма.

Из перечисленных пород наибольшее распространение на месторождении имеют перидотиты и серпентиниты. 80% пород, а именно: 37% перидотитов V категории и 43% серпентинитов III категории взрываемости являются наиболее характерными горными породами, сопутствующими при добыче асбестовых руд.

Как видно из вышеописанного, на карьерах Баженовского месторождения прослеживается тенденция к увеличению трудновзрываемых пород.

Одним из направлений снижения затрат на взрывную подготовку рудного массива является достижение рационального уровня дробления взрывом, поскольку переизмельчение, особенно в осенне-весенний период, ведет к повышению влажности руды и при подготовке к пневматическому обогащению требуется повышенный расход газа для ее предварительной сушки.

Вместе с тем, учитывая, что в начале XXI века возникли проблемы с реализацией асбеста и изделий из него в связи с отказом многих стран от его применения и закупок, на комбинате стало больше внимания уделяться диверсификации, выраженной в увеличении производства и сбыта строительных материалов и, в первую очередь – щебня различных марок, востребованных на рынке строительных материалов, из перидотитов, габбро и диоритов, которые до 2005 года складировались в отвалы вскрышных пород. Однако при их взрывной подготовке не в полной мере учитывается выход кондиционного куска для производства щебней, т.е. требуется изменение подхода при проектировании буровзрывных работ, изменении составов эмульсионных ВВ, их зарядании и инициировании.

То есть существующие параметры буровзрывных работ, обеспечивающие высокое качество взрывания, тем не менее, допускают возможность переизмельчения взрываемой горной массы, что в ряде случаев ведет к потерям полезного материала.

1.2 Анализ практики ведения взрывных работ

Постоянное изменение физико-механических свойств горных пород с ростом глубины карьеров и увеличением их обводнённости, предъявляют особо высокие требования к технологии разрушения массивов буровзрывным способом, который является одним из наиболее дорогостоящих технологических процессов. Доля затрат на буровзрывные работы в условиях глубоких карьеров достигает в себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого 30-35% и имеет тенденцию к дальнейшему росту.

В этой связи, проблема подготовки горной массы к выемке с наименьшими затратами при разработке сложно структурных асбестовых массивов является важнейшей для горнодобывающих предприятий, как отечественных, так и зарубежных. Бурение технологических скважин на карьерах осуществлялось и осуществляется отечественными станками шарошечного бурения СБШ-250МН с диаметром долот 244,5, 230 и 215,9 мм. В последнее время для постановки бортов карьера в предельное состояние приобретены и используются станки производства шведской фирмы Atlas Copco ROC-L8 и ROC-L6 с диаметром долот 170 и 140 мм, при вертикальном (90^0) и наклонном (75^0) направлении взрывных скважин.

В качестве взрывчатых веществ и средств инициирования скважинных зарядов на карьерах комбината до конца 80-х годов использовались в основном штатные взрывчатые материалы (таблица 1.4).

С изменением горно-геологических условий разработки месторождения и увеличением затрат на подготовку горной массы к выемке, возникла потребность в более дешёвых взрывчатых веществах со свойствами и

характеристиками, обеспечивающими требуемый выход горной массы по гранулометрическому составу.

Таблица 1.4 – Перечень применяемых взрывчатых материалов

Перечень взрывчатых веществ	Производитель
Гранулотол	АО «Промсинтез», ФПК «Завод им. Свердлова»
Граммонит 79/21	ОАО «Калиновский химзавод»
Шашки Т-400	ОАО «Завод «Пластмасс»
Аммонит 6ЖВ	ОАО «Калиновский химзавод»
«Игданит»	Собственное производство
Перечень средств инициирования скважинных зарядов	Производитель
Электродетонаторы КД, ЭД-1-8-Т (комбинат отказывался от электрического инициирования из-за блуждающих токов)	ОАО «Искра», г. Новосибирск
Детонирующий шнур ДШН-6, ДШН-10, ДШН-12	ОАО «Искра», г. Новосибирск
Пиротехническое реле РПН-1, РПН-2, РПН-3	ОАО «Искра», г. Новосибирск
Неэлектрические системы «СИНВ» «Рионель»	ОАО «Искра», г. Новосибирск, ЗАО «ВСИ», г. Чапаевск

Разработка новых рецептур простейших ВВ на основе аммиачной селитры и дизельного топлива, а именно: гранулита «Игданит» с относительно низкой стоимостью, возможностью полной механизации приготовления и заряжания сухих и малообводненных скважин, высокой безопасностью в обращении и возможностью обеспечения требуемого качества подготовки горной массы к

выемке, способствовало решению данной проблемы на определённый период времени. Динамика применения простейших, тротилсодержащих и эмульсионных ВВ на карьерах ПАО «Ураласбест» приведена на рисунке 1.5.

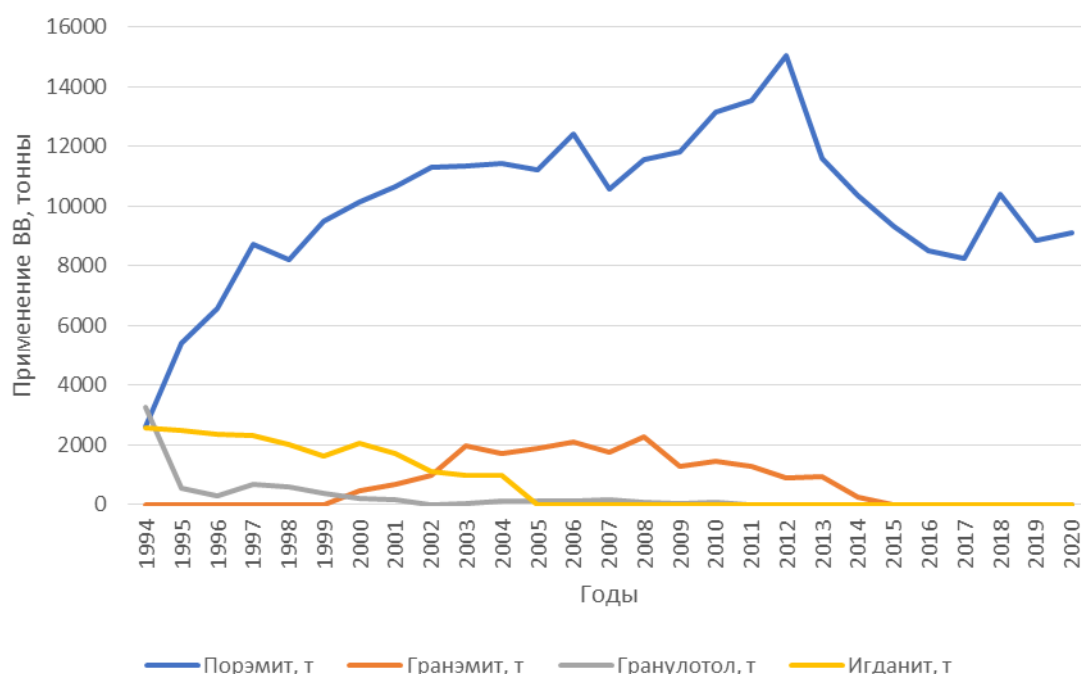


Рисунок 1.5 – Динамика применения простейших, тротилсодержащих и эмульсионных ВВ на Баженовском месторождении хризотил-асбеста

Благоприятные условия для комплексной механизации взрывных работ на комбинате возникли при появлении бестротиловых ВВ, изготавливаемых вблизи мест их применения. Впервые на карьерах комбината игданит был применён в небольших количествах в конце пятидесятых годов двадцатого столетия, но отсутствие необходимых технических средств для его изготовления и зарядания в скважины, а также низкое качество аммиачной селитры не дали возможности его широкого внедрения. Приобретённая в 1968 году зарядная машина МЗС-1М, предназначенная для изготовления игданита в процессе зарядания скважин, тоже не нашла должного применения из-за малой вместимости бункера (4 м³) и низкой производительности до 8 т в смену).

В 1969 году был построен и введён в эксплуатацию пункт механизированного растаривания и загрузки зарядных машин компонентами ВВ – аммиачной

селитрой и гранулотол, который в значительной мере способствовал широкому внедрению зарядных машин СУЗН-5А для заряжания необводнённых скважин граммонитом 79/21 местного изготовления. Для дальнейшего увеличения объёмов производства и применения простейших ВВ в 1982 году был построен новый высокомеханизированный комплекс по растариванию аммиачной селитры и загрузке её в зарядные машины, в состав которого вошли: типовой склад аммиачной селитры вместимостью 500 т, кантователь пакета мешков, растаривающая установка, конвейер для подачи аммиачной селитры в бункеры-накопители, конвейер для транспортирования порожней тары в автополуприцеп и бункеры-питатели. Для изготовления игданита в процессе заряжания скважин использовались вновь приобретённые смесительно-зарядные машины МЗ-3А и МЗ-3Б, которые позволили довести объём изготовления его до 100% от общей потребности в простейших неводоустойчивых взрывчатых веществах и снизить затраты на подготовку горной массы к выемке, что однако не исключало применение тротилсодержащих ВВ.

С увеличением глубины карьеров и ухудшением гидрогеологических условий разработки месторождения, обводнённость локальных массивов горных пород достигла 75-80%, в результате чего возникла потребность в водоустойчивых взрывчатых веществах. Гранулотол, в связи с его высокой стоимостью, токсичностью и сложностью механизации всех операций, связанных с его переработкой, перестал удовлетворять современным требованиям горного производства.

С увеличением глубины карьеров и усложнением гидрогеологических условий возникла значительная потребность в водоустойчивых взрывчатых веществах. Гранулотол и другие тротилсодержащие ВВ с высокой стоимостью, токсичностью и сложностью механизации операций, связанных с переработкой и безопасностью транспортирования, перестали удовлетворять требованиям производства. Поэтому в дальнейшем в качестве взрывчатых веществ при

заряжании скважин, в зависимости от степени обводненности локальных массивов, на карьерах комбината использовались эмульсионные ВВ, изготавливаемые в условиях предприятия и в ограниченном количестве – тротилсодержащие ВВ.

В этой связи в 1988 году был построен и сдан в опытно-промышленную эксплуатацию цех Калиновского химзавода по производству эмульсии порэмита и газогенерирующей добавки (ГГД). Только в первые два с половиной года его эксплуатации было изготовлено 26 тыс. т порэмита 1 и с его применением отбито около 40 млн. м³ горной массы. В марте месяце 1994 года был построен и сдан в эксплуатацию завод с производительностью 25 тыс.т в год при двухсменном режиме работы. С июня 1997 г. на комбинате начался выпуск порэмита 1А, который отличается тем, что из состава исключена натриевая селитра.

Опыт применения порэмита на комбинате «Ураласбест» показал его существенные достоинства:

- хорошая водоустойчивость;
- низкая чувствительность к механическим и тепловым воздействиям и, как следствие – высокая безопасность в обращении;
- экологически чистое безотходное производство;
- полная механизация зарядки скважин;
- низкая газовая вредность;
- доступная и сравнительно дешевая сырьевая база.

Анализ опыта работы завода по производству эмульсии порэмита свидетельствует о том, что:

- при содержании эмульгатора в эмульсии 1,0-0,6% и при его полном соответствии требованиям технических условий изготовленная эмульсия обладает высокой стабильностью и реологическими свойствами;
- эмульсия порэмита 1, имеющая показатель электрической емкости до 500 пф и эмульсия порэмита 1А, имеющая значение этого показателя 350

пф обладают стабильностью, необходимой для получения порэмита, отвечающего требованиям нормативно-технической документации.

В 1995 году ИГД УрО РАН совместно с ГосНИИ «Кристалл» и ОАО «Ураласбест» был разработан «Директивный процесс на приготовление гранэмита марки И-50 в смесительно-зарядной машине МЗГ-10», изготовленной опытным заводом АО «НИПИГОРМАШ» по заданию комбината, «Регламент технологического процесса» и прочая техническая документация, необходимая для получения разрешения на проведение приёмочных испытаний комплекса «СЗМ МЗГ-10 – Гранэмит И-50».

В тот же год были проведены предварительные испытания комплекса, а в 1996 году с разрешения Госгортехнадзора России на Южном и Центральном карьерах комбината были проведены приёмочные испытания.

В соответствии с требованиями технических условий разработчика ГосНИИ «Кристалл» гранэмнты марок И-30, И-50 и И-70 к тому времени уже прошли заводские испытания и были рекомендованы к испытаниям в производственных условиях.

В процессе приёмочных испытаний СЗМ МЗГ-10 показала работоспособность основных узлов и агрегатов и возможность получения высокоэффективной и недорогой взрывчатой смеси гранэмит И-50, который и был впервые в России рекомендован приёмочной комиссией к постоянному применению на карьерах комбината.

Одновременно на карьерах комбината, при непосредственном участии сотрудников лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН, были проведены испытания новых промежуточных шашек-детонаторов – РУВ-400, РУВ-800, ЭЛ-800, обладающих повышенной механической прочностью и водостойчивостью, системы электрического взрывания скважинных зарядов, а также разных типов конверсионных изделий, нашедших дальнейшее применение на предприятиях страны.

К основным достоинствам ЭВВ следует отнести: высокую водоустойчивость при сроке пребывания в скважине до 10 суток; возможность регулирования мощности в широких пределах от 3600 до 5860 кДж/дм³ за счет изменения плотности или введения в состав энергетических добавок; низкую чувствительность к механическим и тепловым воздействиям, а следовательно – высокую безопасность в обращении, экологически чистое безотходное производство, полную механизацию зарядки скважин, сравнительно невысокую газовую вредность и недорогую отечественную сырьевую базу [12].

Создание концентрированных взрывчатых смесей из ЭВВ и АС-ДТ обеспечивает достижение широкого диапазона требований по плотности и по детонационным характеристикам, а также по условиям заряжания и водостойкости. Характеристики ЭВВ, применяемых на карьерах комбината с конца двадцатого столетия, приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Основные характеристики эмульсионных взрывчатых смесей (данные разработчика ГОСНИИ «Кристалл»)

Наименование типа взрывчатого вещества	Марка ВВ	Наименование характеристик				
		теплота взрыва, ккал/кг	концент- рация энергии, ккал/дм ³	плотно- сть заря- жания, кг/м ³	скорость детона- ции, км/с	газовая вред- ность л/кг
Порэммит 1А	–	720	900	1200	4,9 – 5,1	40
Гранэммит 30А	30/70	797,6	1083,8	1350	4,9 – 5,2	38
Гранэммит 50А	50/50	832,4	1166,4	1400	4,8 – 5,2	36

Порэммит 1А и Гранэммит И-30А и И-50А [13, 14] изготавливаются вблизи мест их применения из невзрывчатых компонентов в смесительно-зарядных машинах (СЗМ) в процессе заряжания скважин под столб воды. Доля использования их на карьерах в настоящее время составляет 95-98% от общего расхода взрывчатых материалов.

ПАО «Ураласбест», начиная с 1986 года являлся лидером в развитии производства отечественных эмульсионных взрывчатых веществ как в технологии изготовления их компонентов, так и в технологии заряжания. В начальный период при наличии разработанной технологии производства ЭВВ не было смесительно-зарядных машин, способных производить заряжание, что вынудило комбинат сделать заказ на оборудование установки по заряжанию ЭВВ в фирме Нитро-Нобель (Швеция). Для снижения первоначальных затрат использовано шасси автосамосвала КрАЗ-256Б.

Заряжание скважин взрывчатыми смесями местного изготовления из невзрывчатых компонентов производится механизированным способом с использованием СЗМ грузоподъемностью от 8 до 15 т – МЗВ-8, МЗВ-10, МЗГ-10, МЗВ-15, СЗГМ-15Э (таблицы 1.6, 1.7) [12,14,15].

Указанные смесительно-зарядные машины используются в условиях карьеров ПАО «Ураласбест», где они прошли приемочные испытания и рекомендованы к постоянному применению. В процессе опытно-промышленных испытаний СЗМ в производственных условиях отработана технология приготовления ЭВВ и заряжания сухих, слабо обводненных и обводненных скважин, как с устья, так и под столб воды. При этом увеличилась производительность труда при заряжании скважин в 2,5-3,0 раза и значительно повысилась безопасность работ при подготовке массовых технологических взрывов на карьерах предприятия.

Следующие смесительно-зарядные машины уже изготавливались на КНИИМ, ОАО «НИПИГОРМАШ», ОАО «ГОРМАШ». Вся зарядная техника разрабатывалась и доводилась до совершенства со специалистами ПАО «Ураласбест». За период разработок были и неудачные конструкции, от которых впоследствии отказались, но были и современные технические решения, которые были применены впоследствии в изготовлении смесительно-зарядной техники для других предприятий.

Основным недостатком смесительно-зарядной техники оказалось ее нестабильная работа в условиях низких температур окружающего воздуха. Те решения, которые предлагались производителями, не соответствовали требованиям и дорабатывались специалистами предприятия «Промтехвзрыв» ПАО «Ураласбест» на местах и в процессе эксплуатации. Дополнительно производилось утепление насосов, рукавов высокого давления.

Таблица 1.6 – Характеристики смесительно-зарядных машин (СЗМ), используемых для приготовления и зарядания порэмита 1А [12]

№ п/п	Технические параметры	Марка СЗМ					
		МЗВ-8	МЗВ-10	МЗВ - 15	СЗГМ-8Э	СЗГМ-15Э	СЗГМ-24 ДК
1	Транспортная база	КрАЗ-265Б1	КрАЗ-65053 - 02	Volvo FM 13	КАМАЗ - 65115	Volvo FMX D13	Volvo FMX 13 D13
2	Масса перевозимого груза, т	8,0	10.0	15.0	8	15	25.85
3	Объем эмульсии, м ³	7,3	10.0	15.0	7,3	15	26
4	Объем емкости для ГГД, м ³	0,25	0,25	0.225	0,25	0.225	0.22/0.32
5	Объем емкости воды, м ³	0,40	0,40	0.37	0,40	0.49	0.730
6	Масса снаряженной машины, т	13,6	16.24	16.00	12,0	18,0	16,0
7	Полная масса машины, т	24,10	26.24	31.00	21,0	33,0	31,0
8	Привод исполнительных органов	Гидравлический					
9	Производительность насоса по закачке порэмита, кг/мин	300					
10	Зарядный рукав: длина/ внутренний диаметр, мм	65/30	65/30	50/30	50/30	50/30	75/10
11	Контроль загрузки порэмита в скважины	По числу оборотов винтового насоса, точность ±4%					
12	Персонал	2 человека					
13	Разработчик-изготовитель	Институт НИПИГормаш и опытный завод (Екатеринбург)			ООО «Спец-ГорМаш» (Екатеринбург)		

Таблица 1.7 – Характеристики смесительно-зарядных машин (СЗМ) для приготовления гранэмита И-30 и И-50 [12]

№ п/п	Технические параметры	Марка СЗМ	
		МЗГ-10	ТСЗМ-11ПГ
1	Транспортная база	КрАЗ-256Б1	КрАЗ-75053
2	Масса перевозимого груза, т	10	9,95
3	Объем емкости: м ³		
	– эмульсии	4,14	6,48
	– аммиачной селитры	5,95	4,5
	– ГГД (нитрит натрия)	0,2	0,18
	– дизельного топлива	0,3	0,26
	– воды	0,23	0,31
4	Масса снаряженной машины, т	11,4	18,5
5	Полная масса машины, т	23,0	29,0
6	Привод исполнительных органов	гидравлический	гидравлический
7	Производительность винтового насоса (шнека) по подаче гранэмита в скважину, кг/мин	300	300±10
8	Зарядный рукав:		
	– внутренний диаметр, мм	65	75
	– длина, м	30	30
9	Габаритные размеры: мм		
	– длина	8050	11000
	– ширина	2640	2500
	– высота	3500	4000
10	Контроль загрузки в скважины	По числу оборотов шнека, точность ±4%	По числу оборотов шнека, точность ±4%
11	Количество персонала, чел.	2	2
12	Разработчик и изготовитель	Институт «НИПИГормаш» (г. Екатеринбург)	ОАО «Гормаш» (г. Белгород)



Рисунок 1.6 – Заряжание скважин порэмитом 1А СЗМ МЗВ-8, МЗВ-10 и СЗМ-8 на локальном блоке Центрального карьера Рудоправления ПАО «Ураласбест»

Собственным проектно-конструкторским отделом разрабатывалась техническая документация, согласовывалась с разработчиками и Ростехнадзором и внедрялась в производство. Это такие решения как перенос насосного оборудования, его утепление при помощи создания дополнительных укрытий, утеплителя, теплопроводников, дополнительная врезка кранов для спуска жидкостей из «мертвых» зон.

Очень интересным решением было усиление конструкции емкости смесительно-зарядной машины СЗГМ-15. Данное предложение было предложено специалистами предприятия. Разработана техническая документация и конструкция была изготовлена на ремонтно-механическом заводе ПАО «Ураласбест». Идея заключалась в том, что основная емкость

весом 15 тонн, изготовленная из листов нержавеющей стали, находилась в так называемой «корзине» из металлических швеллеров и уголков. А уже «корзина» крепилась к опорам всей конструкции. То есть вся нагрузка емкости равномерно распределялась на элементы «корзины», что позволило полностью исключить изломы листов основной емкости, что являлось серьезным недостатком СЗМ большой грузоподъемности. Подобным путем была модернизирована и аналогичная СЗМ-15.

За период эксплуатации смесительно-зарядной техники в условиях ПАО «Ураласбест» специалистами предприятия было внесено более сотни различных доработок конструкций зарядной техники.

Последние три смесительно-зарядные машины (2 единицы СЗГМ-8, 1 единица СЗГМ-10) и один доставщик компонентов эмульсионных взрывчатых веществ специалисты предприятия изготавливали собственными силами. Со списанной техники брались емкости, ремонтировались и устанавливали на новые шасси КАМАЗ, ИВЕКО. Для подтверждения соответствия требованиям промышленной безопасности проводились экспертизы промышленной безопасности на данную технику и производился ввод в эксплуатацию. Таким образом, смесительно-зарядная техника изготавливалась теми специалистами, которые и в дальнейшем занимались ее непосредственной эксплуатацией, что положительно сказывалось на внедрении технических решений под условия карьеров ПАО «Ураласбест».

Многолетние взаимосвязи ПАО «Ураласбест» с Институтом горного дела Уральского отделения РАН позволяют постоянно совершенствовать технологию и технику взрывного разрушения локальных массивов горных пород на карьерах и параметры буровзрывных работ за счёт изучения упругих свойств пород в их естественном залегании и взрывчатых свойств эмульсионных ВВ при взрывании пород и руд различной крепости и взрываемости.

Анализ и обобщение показателей работы взрывного комплекса за последние годы, свидетельствует о некотором снижении технико-экономических показателей буровзрывных работ в связи с ростом глубины и усложнением горнотехнических и гидрогеологических условий разработки месторождения.

В таблице 1.8 приведены в динамике основные показатели взрывных работ на карьерах ПАО «Ураласбест» за последние пятнадцать лет.

Таблица 1.8 – Основные показатели взрывных работ в ПАО «Ураласбест» за 2005-2020 годы

Годы	Объем взорванной горной массы, тыс.м ³	Количество израсходованного ВВ, т.т	Удельный расход ВВ, кг/м ³
2005	21095	13571	0,643
2006	22093	14541	0,658
2007	19909	13511	0,678
2008	19986	14050	0,724
2009	16825	13208	0,785
2010	17215	14299	0,831
2011	16926	14549	0,860
2012	16288	15782	0,984
2013	12025	12345	0,978
2014	10522	10578	1,01
2015	9219	9379	1,02
2016	8800	8543	0,961
2017	9088	8287	0,912
2018	10640	10414	0,978
2019	9131	8857	0,970
2020	9980	9221	0,923

К основным направлениям, позволяющим обеспечить стабилизацию технико-экономических показателей на предприятии, следует отнести:

- техническое перевооружение и совершенствование техники и технологии взрывного разрушения локальных массивов горных пород на карьерах;
- совершенствование параметров буровзрывных работ на основе мониторинга прочностных свойств горных пород в их естественном залегании;
- изучение взрывчатых характеристик ЭВВ на основе обратных эмульсий с целью максимального использования их энергетических свойств;
- повышение качества взорванной горной массы за счёт обурирования всех крупноблочных исключительно крепких и крепких пород месторождения скважинами малого диаметра – не более 215, 9 мм;
- комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ на территории склада взрывчатых материалов и в карьере.

Ключевым недостатком изготовления ЭВВ на местах производства работ являлось расслоение эмульсии, которое потребовало разработки методики контроля качества ее изготовления в целях исключения нарушения стабильности (расслаивания) эмульсии порэмита, которая неминуемо возникает при транспортировке даже на расстояние 10-12 км.

Следует отметить также, что при транспортировании эмульсии порэмита на расстояние более 500 км, рецептуру ее изготовления следует модифицировать с целью обеспечения стабильности эмульсии и гарантии ее качества.

Представленные выше сведения позволяют сделать вывод о приоритетном направлении в развитии производства и использовании эмульсионных взрывчатых веществ в карьерах Баженовского месторождения хризотил-асбеста. Их преимущества неоспоримы:

- отсутствие пыления;
- близкий к нулевому кислородный баланс;
- полная механизация и автоматизация изготовления и заряжания;

- возможность создания комбинированных и смесевых составов на основе матричной эмульсии, введение различных добавок;
- и одно из самых важных для экономики производства – доступная и сравнительно дешёвая до недавних пор сырьевая база для производства недорогого ЭВВ.



Рисунок 1.7 – Смесительно-зарядная машина МЗВ-15 для изготовления порэмита 1А

На карьерах комбината «Ураласбест» прослеживается динамика развития ЭВВ в условиях горнодобывающего предприятия. Заметен плавный переход от промышленных тротилосодержащих ВВ к эмульсионным. Переход происходит в течение большого периода по причине отработки технологий для различных горно-геологических условий и меняющейся сырьевой базы, появлению новых составов, технологии заряжания и изменения конструкций смесительно-зарядной техники, а также изменений требований к гранулометрическому составу.

Ключевым недостатком изготовления ЭВВ на местах производства работ являлось расслоение эмульсии, которое потребовало разработки и совершенствования методики контроля качества для исключения нарушения стабильности эмульсии порэмита (расслаивания). В современном производстве введён дополнительный контроль – так, ещё на этапе изготовления раствора аммиачной селитры контролируется рН окислителя с целью исключения увеличения кислотности среды, которая неминуемо ведёт к нарушению стабильности эмульсии порэмита при транспортировке.

Вышеперечисленная зарядная техника в какой-то мере эксклюзивна для ПАО «Ураласбест» и обычна для уже последующего массового производства. Это такие смесительно-зарядные машины как МЗВ-8, МЗВ-10, МЗВ-15. Особенно хочется выделить МЗГ-10 и ТСЗМ-11ПГ. Это техника первая в России выпущена российскими предприятиями для зарядания скважин гранэмитами 50/50 и 30/70.

Наряду с развитием зарядной техники в ПАО «Ураласбест» подбирались из существующей сырьевой базы страны сырье и компоненты для производства ЭВВ. Отрабатывался и совершенствовался контроль качества.

Качество эмульсии порэмита всегда контролировалось по следующим показателям:

- электрическая ёмкость, не более 200 пФ – основной показатель оценки качества;
- плотность, не менее 1320 кг/м³ – показатель оценки безопасности продукта;
- температура, 75-85°С – показатель оценки безопасности продукта.

Однако в процессе производства на опытной установке имели место случаи «расслаивания» эмульсии порэмита.

рН у окислителя, не подкисленного сульфаминовой кислотой, должна быть 5,5, а у подкисленного – не менее 2,5.

Также, при необходимости (введение в производство сырья от новых поставщиков, новых номенклатур, сомнений в качестве), образцы эмульсии порэмита, предварительно подвергаются термостатированию в лабораторных условиях. Термостатирование образцов ведётся в лабораторном термостате при температуре 85°C в течение 6 часов. Эмульсия порэмита считается стабильной, если её электрическая ёмкость остаётся меньше 300 пФ.

По факту, эмульсия порэмита, выпускаемая ПАО «Ураласбест», обычно после термостатирования показывает результат близкий к 200 пФ (220-250 пФ).

Следует отметить также, что при транспортировке эмульсии порэмита на расстояние более 500 км, рецептуру ее изготовления следует модифицировать с целью производства на полимерном эмульгаторе, который обеспечивает лучшую стабильность эмульсии и гарантирует качество.

1.3 Анализ теоретических положений разрушения горных пород

Учитывая, что интенсивность и качество дезинтеграции скальных массивов для выемки и транспортирования пород в пункты назначения зависит от многих факторов, характеризующих структуру, прочностные и плотностные свойства горных пород в естественном залегании в локальных массивах, а также свойства и характеристики применяемых способов и средств внешнего воздействия на массив.

Большой вклад в развитие теории и практики взрывного разрушения массивов горных пород и управления процессами их нагружения при разработке месторождений минерального сырья внесли учёные, а именно: академики Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, М.А. Садовский, К.Н., Трубецкой, Е. Н. Шемякин, В.В. Адушкин, проф., д.т.н. Л.И. Барон, Г.П. Демидюк, В.Н. Мосинец, А.Н. Ханукаев, Г.И. Покровский, Б.Н. Кутузов, С.Д. Викторов, Н.Н. Казаков, Е.Г. Баранов, В.Л. Белин, М.Ф. Друкованный, Э.И. Ефремов, Козырев, Л.Н. Марченко, В.Н. Родионов, А.Ф. Суханов, И.А. Тангаев и многие другие доктора и кандидаты технических наук,

обосновавшие современные представления о механизме разрушения массива взрывом, основой которых являются ударно-волновая теория, теория радиального трещинообразования и энергетическая теория. При этом подавляющее большинство исследований, по применению буровзрывной подготовки горной массы к выемке на открытых горных разработках, проведено применительно к условиям разработки железорудных, меднорудных и угольных месторождений.

Следует отметить, что большинство исследований и разработок, а также их апробация проводились в условиях рудных и угольных месторождений. Вопросам разрушения массивов горных пород в условиях разработки сложноструктурных нерудных асбестовых месторождений, характеризующихся чрезвычайно широкой гаммой прочностных свойств, высокой обводненностью, а также перемежающейся трещиноватостью не уделено должного внимания.

Современные представления разных учёных о механизме разрушения массива взрывом довольно противоречивы. Одни исследователи считают, что разрушение массивов происходит под действием статических сил давления газообразных продуктов детонации ВВ. Другие, что разрушающим фактором являются волны напряжений. Третьи – что разрушение происходит от совместного действия продуктов взрыва и волн напряжений. Разнообразие гипотез разрушения горных массивов объясняется сложностью и кратковременностью процесса. Так, А.Ф. Сухановым [18] развита теория взрыва, основанная на сопротивлении среды разрушению и мгновенном переходе потенциальной энергии ВВ в механическую, которая расходуется на отделение части породы от основного массива по боковой поверхности, на преодоление инерции массы породы. Установлено, что величина скважинного заряда пропорциональна функции действия взрыва, удельному расходу ВВ и объёму разрушаемого массива:

$$Q = f(d)_q \cdot q \cdot V_M ; \quad (1.1)$$

где: $f(d)_q$ – коэффициент, учитывающий степень дробления породы в зависимости от показателя действия взрыва;

q – удельный расход ВВ на рыхление 1 м³ породы, на преодоление сил сцепления по поверхности отрыва и силы тяжести породы;

V_M – объём разрушаемого массива.

Этой гипотезе присущи определённые недостатки, а именно: затраты энергии на преодоление сил сцепления среды учтены только на боковой поверхности воронки взрыва, а также не учитываются затраты энергии в зоне пластических деформаций и на перемещение взорванной горной массы. При этом не учитывается роль взаимодействия смежных зарядов и свойств пород взрываемого массива.

Г.И. Покровский [19] считает, что разрушение пород при взрыве происходит от действия волн напряжения, распространяющихся от заряда. В результате взрывного импульса окружающая среда мгновенно сжимается и её частицы получают движение по радиальным направлениям вслед за фронтом волны. При этом возникает зона сильных деформаций, вызывающих растягивающие и тангенциальные напряжения, превосходящие временное сопротивление на разрыв, что вызывает появление радиальных трещин. При падении давления и подхода волны сжатия к поверхности порода расширяется и внутри её протекает волна разряжения, производящая большее разрушение, чем волна сжатия.

А.Н. Ханукаев, В.Н. Мосинец, Е.Г. Баранов [20, 21, 22, 23], используя современные методы исследований, установили, что разрушение взрывом массивов пород происходит за счёт одновременного действия продуктов детонации ВВ и волн напряжения. Доля участия их зависит от акустических свойств разрушаемой среды. При взрыве возникает огромное давление, по абсолютному значению превышающее предел прочности пород на сжатие. Вокруг заряда возникает зона пластических деформаций. Зона

трещинообразования в крепких породах проявляется на 10-15 радиусов заряда. Как только волна сжатия доходит до свободной поверхности, отражается от неё и во внутрь массива проходит волна, вызывающая растягивающие напряжения, что и приводит к интенсивному разрушению окружающей среды. Доля участия прямых и отражённых волн по мере увеличения акустической жёсткости пород возрастает. Вследствии этого, для качественной оценки роли волн напряжения в общем объёме разрушения породы разделены на три группы:

- породы с большой акустической жесткостью (свыше $10 \cdot 10^5$ г/см³·см/сек);
- породы со средней акустической жесткостью (от $05 \cdot 10^5$ до $10 \cdot 10^5$ г/см³·см/сек), разрушаются под действием расширяющихся продуктов взрыва, так и волн напряжения;
- породы с малой акустической жесткостью (менее $05 \cdot 10^5$ г/см³· см/сек) разрушаются только за счёт расширяющихся продуктов взрыва.

В.Н. Мосинец и И.А. Тангаев [23] на основе экспериментальных исследований установили, что разрушение трещиноватого массива не может быть объяснено с позиций волновой или газовой теории, поскольку радиальные трещины развиваются первоначально в области максимальных растягивающих напряжений по линии одновременно взрывааемых скважин и в сторону обнажённых поверхностей. В средах с интенсивно развитой трещиноватостью дробление под действием растягивающих напряжений имеет место только в области непосредственной близости от заряда.

Б.Н. Кутузов [24, 25] считает, что в массиве трещины экранируют действие взрыва и дроблению подвергаются лишь 2/3 части массива, прилегающего к скважинным зарядам. Плоскости трещин локализируют действие взрыва за счёт отражения от них волн напряжения. За границей трещин происходит скачкообразное снижение напряжения и интенсивности

дробления. Он в качестве метода регулирования дробления трещиноватого массива пород предлагает подбор удельного расхода ВВ и диаметра заряда.

Л.И. Барон [26] считает, что при взрывной отбойке сильно нарушенных массивов регулирование кусковатости путём изменения удельного расхода ВВ в принципе малоэффективно и его наиболее целесообразно осуществлять путём изменения распределения ВВ во взрываемом массиве. В частности, снижение выхода негабарита может быть достигнуто сгущением сетки скважин (при соответствующем уменьшении их диаметра) и более равномерным распределением ВВ по высоте скважины (рассредоточенные заряды).

М.Ф. Друкованый [27] установил, что при взрывании трещиноватых скальных пород объём зоны дробления и развала увеличивается в сравнении с разрушением монолитных массивов. Это вызвано тем, что волны напряжений в трещиноватом массиве затухают быстрее и ускоряется прорыв газов по естественным трещинам, что уменьшает время воздействия взрыва на массив.

Э.И. Ефремов [10] отмечает, что в монолитных породах на качество подготовки горной массы значительно влияют параметры БВР, а в породах, нарушенных естественными трещинами, расстояние между которыми превышает параметры сетки скважин, качество дробления обеспечивается уменьшением диаметра скважин и сетки их расположения. При крупноблочном строении массива трещиноватость затрудняет дробление пород. Можно предположить, что между естественной трещиноватостью массива и гранулометрическим составом взорванной горной массы существует определённая зависимость и что естественная трещиноватость, наряду с параметрами буровзрывных работ, является существенным фактором, от которого зависит эффективность дробления массива взрывом. Существенной особенностью механизма разрушения трещиноватого массива взрывом является то, что на определённом расстоянии от заряда разрушение

массива происходит без образования новых поверхностей, путём разделения массива на слагающие его отдельности, то есть в трещиноватом массиве всегда существует определённая зона, в которой порода не подвергается дроблению взрывом, а разваливается на естественные отдельности. Размеры её зависят от степени трещиноватости локального массива и параметров буровзрывных работ.

Имеются и другие подходы к описанию процесса разрушения монолитных и трещиноватых массивов горных пород в природе и установлению взаимосвязи между характеристиками заряда взрывчатых веществ и результатами действия взрыва. Но наиболее широко известны три теории взрывного разрушения массивов горных пород:

- первая известна под названием ударно-волновой теории или теории воронкообразования. Основными элементами ударно-волновой теории являются: импедансы ВВ и породы, определяющая роль отраженных волн в механизме разрушения и другие ударно-волновые концепции. Она успешно используется при оценке эффективности промышленных взрывчатых веществ. Ударно-волновая теория, принципиально неприменима к промышленной взрывной отбойке, поскольку она основана на существовании истинных ударных волн, а также тесного контакта между различными средами. Кроме того, вследствие не идеальности детонации большинства промышленных ВВ нарастание давления происходит значительно медленнее, чем необходимо для применимости уравнений несоответствия импедансов;

- вторая теория известна как теория радиального трещинообразования, в которой определяющая роль в механизме разрушения отводится волне сдвига на ранней стадии распространения ударной волны и последующему развитию радиальных трещин. Таким образом, теорию радиального трещинообразования также можно отнести к ударно-волновой теории, хотя роль откольных разрушений у свободной поверхности в ней сводится к

минимуму. Некоторые положения этой теории входят в энергетическую теорию взрывного разрушения. В частности, важная роль отводится смещению взрывающегося массива при его дроблении;

- третья теория известна под названием энергетической теории. В этой теории давление продуктов детонации сжимает взрывающийся массив, приводя его в напряженное состояние, облегчающее последующее дробление, и создает в массиве скоростное поле, благоприятствующее наступлению заключительной стадии первичного дробления. Последующая стадия дробления обуславливается, главным образом, разгрузкой массива после прорыва в атмосферу продуктов детонации и перестройкой скоростного поля. При этом распределение скоростей, сообщенных массиву взрывом и убывающих по мере удаления от скважины, сменяется распределением скоростей типа расширяющейся вселенной, когда скорость возрастает по мере удаления от скважины к свободной поверхности, как под действием импульсивного механизма. Длительность передачи взрывного импульса в несколько раз больше, чем время пробега взрывной волны по линии наименьшего сопротивления, но разрушение породы при правильном проектировании взрыва начинается не раньше завершения этой передачи. Разгрузочный механизм разрушения породы в энергетической теории (разрушение массива происходит путем отрыва кусков от поверхности) не связан непосредственно с волной разгрузки, тогда как в ударно-волновой теории преобладающее значение имеют откольные разрушения. Эта теория представляет собой сильный инструмент, который позволяет при взрывном разрушении сложноструктурных массивов горных пород сравнить и оценить взрывную эффективность различных типов ВВ при разработке месторождений полезных ископаемых.

При разработке асбестовых месторождений проектирование технологических взрывов производится в соответствии с рекомендациями «Типового проекта производства взрывных работ на карьерах ПАО

«Ураласбест», который корректируется в процессе разработки месторождения на основе практики взрывания массивов горных пород. Параметры буровзрывных работ по «Типовому проекту производства взрывных работ на карьерах ПАО «Ураласбест», приведены в таблице 1.9.

Повышение эффективности взрывных работ на карьерах и достижение требуемого качества подготовки горной массы к выемке возможно при управлении процессом взрывного нагружения локальных массивов одним или несколькими методами при условии применения их с рациональными параметрами, совершенствовании методов проектирования технологических взрывов на карьерах с учётом ряда неучтённых факторов и последующей корректировкой «Типового проекта производства взрывных работ на карьерах ПАО «Ураласбест».

Данный Типовой проект имеет некоторые недостатки – не учитывается ряд факторов, влияющих на эффективность подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом, а именно: структура локальных массивов, тип ВВ, вероятностный характер плотности заряжения скважин, конструкция зарядов. Например:

1) для расчётов зарядов предлагается повышенный удельный расход взрывчатых материалов (до $1,4 \text{ кг/м}^3$ по 5 й категории пород). Фактически удельный расход по 5 категории сейчас составляет $1-1,1 \text{ кг/м}^3$. Эта «вилка» даёт расчётчикам на законном основании перестраховываться и рассчитывать заряжать и заряжать «немного с запасом». Что экономически невыгодно по расходу ВМ и нецелесообразно при понижении горных работ, уменьшения рабочих площадок и невозможности уборки оборудования на более большие безопасные расстояния;

2) не учитывает требования Асбофабрики в плане переизмельчения горной массы. Переизмельчение в осенне-весенний период ведет к повышению влажности руды и при подготовке к обогащению требуется повышенный расход газа;

3) не учитывает рассредоточение заряда и создание воздушных промежутков.

4) не учитывает выход кондиционного куска для производства щебней.

То есть Типовой проект, по которому сейчас ведутся буровзрывные работы на карьерах Баженовского месторождения предполагает высокое качество взрывания с возможным переизмельчением взрываеваемой горной массы.

Простое решение уменьшить заряды ведёт к понижению колонки заряда и как следствие к увеличению выхода негабарита в верхней части взрываеваемого блока. Поэтому одной из задач данной работы будет являться изменение параметров буровзрывных работ, конструкции заряда и введение добавок в состав ЭВВ.

С учётом выше изложенного, следует отметить, что подавляющее большинство исследований, по применению буровзрывной подготовки горной массы к выемке на открытых горных разработках, проведены применительно к условиям разработки железорудных, меднорудных и угольных месторождений.

Решению практических вопросов и задач, обеспечивающих повышение эффективности и безопасности взрывного разрушения сложноструктурных

Таблица 1.9 – Рекомендуемые параметры расположения скважин и величина удельного расхода ВВ (действующий Типовой проект)

№ п/п	Категория пород по взрываемости	Высота уступа, м	Величина перебура, м	Диаметр скважины, мм	Максимальное значение ЛСПП, м	Расстояние между скважинами в ряду, м	Расстояние между рядами скважин, м	Максимальное значение расчётного удельного расхода эмульсионных ВВ кг/м³	Расчётная вместимость эмульсионных ВВ на 1 пог. м скважины, кг
1	II	15 – 18	1	190	9	7,0	6,5	0,7/0,5	35
				215,9	10,0	8,0	7,5		45
				233,0	10,0	8,5	8,0		53
				244,5	11,0	9,0/10	8,5/9,5		58
				250,8	11,0	9,0/10	8,5/9,5		61
2	III	15 – 18	1	170	7,0	5,5	5,0	1,1/0,7	28
				190	8,0	6,0	5,5		35
				215,9	9	7,0	6,0		45
				233,0	10,0	8,0	7,0		53
				244,5	11,0	8,5/9,0	7,5/8,5		58
				250,8	11,0	8,5/9,5	7,5/8,5		61
3	IV	15 – 18	1-1,5	110	4,0	3,0	3,0	1,2/0,85	12
			1,5	140	5,0	4,0	4,0		19
			2	170	7,0	5,0	5,0		28
				190	8,0	6,0	5,0		35
				215,9	8,0	6,0	5,5		45
				233,0	9,0	7,0	6,5		53
				244,5	9,0	7,5/8,5	6,5/7,5		58
				250,8	9,0	7,5/8,5	6,5/7,5		61

Продолжение табл. 1.9									
4	V	15-18	1-1,5	110	4,0	3,0	2,5	1,400/ 1,0	12
			1,5	140	5,0	3,5	3,0		19
			2	170	6,0	4,5	4,0		28
				190	7,0	5,0	4,5		35
				215,9	7,0	6,0	5,0		45
				233,0	8,0	6,5	6,0		53
				244,5	8,0	7,0/8,0	6,0/7,0		58
				250,8	8,0	7,0/8,0	6,0/7,0		61

Примечание: Через дробь указаны параметры, которые рекомендованы для применения в следующем Типовом проекте производства буровзрывных работ на карьерах ПАО «Ураласбест».

крупноблочных массивов, сложенных породами особо трудновзрываемыми на карьерах по добыче строительных материалов до настоящего времени не уделялось должного внимания. Для сравнения отметим, что разрушение вскрыши для добычи угля, а также разрушение рудных массивов более прогнозируемо для проектирования, взрывания, оценки результатов, чем разрушение пород в условиях перемежающейся геологии от III до V категории взрываемости при стопроцентной обводненности взрываемых блоков. Кроме того, рудные блоки, как правило, крупноблочные, а вмещающие – от мягких серпентинитов до весьма крепких диоритов. В этих условиях для извлечения основного сырья хризотил-асбеста требуется одно качество дробления горной массы, а для производства строительного камня – другой гранулометрический состав взорванной горной массы.

Все авторы, исследующие теорию взрыва и разрушение пород в основном делали свои исследования разрушения пород на промышленных ВВ. Сегодня же предприятия используют огромный ассортимент как промышленных ВВ, так и водоземulsionных разных составов, плотностей, разной реологии, разных способов заряжания. Соответственно относительно теорий исследователей разрушения пород появляются особенности применения –

транспортировка, условия и способы заряжания, определённые новые задачи по рассредоточению заряда и забойки.

В этой связи изучение условий, обоснование рациональных параметров буровзрывных работ с использованием эмульсионных ВВ на асбестовых карьерах, а также изыскание способов и средств для повышения эффективности буровзрывных работ и достижения требуемого качества подготовки горной массы к выемке, с наименьшими затратами вызывает значительный теоретический интерес и имеет практическую значимость.

1.4 Выводы по главе

1. Анализ структуры объёмов выемки горной массы на карьерах свидетельствует, что взрывание по крепким породам IV и V категорий составляет более половины (57%) от общего объёма, что в динамике и сравнении с 2010 годом, где IV и V категория составляла 35-42%, показывает рост объёмов трудновзрываемых пород.

2. В связи с отказом многих стран от применения и закупок асбеста, все больше внимания уделяется диверсификации, выраженной в увеличении производства и сбыта строительных материалов и в первую очередь – щебня различных марок из перидотитов, габбро и диоритов. Однако при их взрывной подготовке не в полной мере учитывается выход кондиционного куска, т.е. требуется изменение подхода при проектировании буровзрывных работ, изменении составов ЭВВ, их заряжании и инициировании.

3. Существующие параметры буровзрывных работ, обеспечивающие высокое качество взрывания, тем не менее допускают возможность переизмельчения взрывающей горной массы, что в ряде случаев ведет к потерям полезного материала. Переизмельчение, особенно в осенне-весенний период, ведет к повышению влажности руды и при подготовке к пневматическому обогащению требуется повышенный расход газа для ее предварительной сушки.

4. Анализ показал, что в течение значительного срока отработки месторождения увеличением глубины карьеров и усложнением гидрогеологических условий возникла потребность в расширении ассортимента водоустойчивых взрывчатых веществ. Гранулотол и другие тротилсодержащие ВВ с высокой стоимостью, токсичностью и сложностью механизации операций, связанных с переработкой и безопасностью транспортирования, перестали удовлетворять требованиям производства. С конца 80-х годов XX века началось изготовление и применение собственных эмульсионных взрывчатых веществ, постепенно приведшее к полному отказу от тротилсодержащих ВВ.

5. Эмульсионные ВВ имеют возможность к развитию и изменению рецептур, что расширяет границы их применения в сложно-геологических условиях карьеров ПАО «Ураласбест». Создание концентрированных взрывчатых смесей из ЭВВ и АС-ДТ обеспечивает достижение широкого диапазона требований по плотности и по детонационным характеристикам, по условиям заряжания и водостойкости, а также низкую чувствительность к механическим и тепловым воздействиям, высокую безопасность в обращении, полную механизацию зарядки скважин, сравнительно невысокую газовую вредность и недорогую отечественную сырьевую базу.

6. Применение смесительно-зарядной техники при производстве взрывных работ повышает производительность заряжания, но в то же время требует дополнительного контроля качества при смешении компонентов в смесительно-зарядных машинах ввиду их разной производительности и конструкции. То есть требуется дополнительные методы контроля работы смесительно-зарядных машин ввиду огромного количества взаимосвязанных между собой факторов.

7. Основным недостатком смесительно-зарядной техники оказалось ее нестабильная работа в условиях низких температур окружающего воздуха. Ключевым недостатком изготовления ЭВВ на местах производства работ являлось расслоение эмульсии, которое потребовало разработки методики

контроля качества ее изготовления в целях исключения нарушения стабильности (расслаивания) эмульсии порэмита, которая неминуемо возникает при транспортировке даже на расстояние 10-12 км.

8. Современные представления о механизме разрушения массива взрывом довольно противоречивы. Одни исследователи считают, что разрушение массивов происходит под действием статических сил давления газообразных продуктов детонации ВВ. Другие, что разрушающим фактором являются волны напряжений. Третьи – что разрушение происходит от совместного действия продуктов взрыва и волн напряжений. Разнообразие гипотез разрушения горных массивов объясняется сложностью и кратковременностью процесса. Наиболее широко известны три теории взрывного разрушения массивов горных пород: ударно-волновая теория; теория радиального трещинообразования; энергетическая теория. Однако подавляющее большинство исследований, по применению буровзрывной подготовки горной массы к выемке на открытых горных разработках, проведены применительно к условиям разработки железорудных, меднорудных и угольных месторождений. Решению задач, обеспечивающих повышение эффективности и безопасности взрывного разрушения обводненных сложноструктурных крупноблочных массивов, характерных для асбестовых месторождений, сложенных трудновзрываемыми породами, до настоящего времени не уделялось должного внимания.

9. Анализ существа «Типового проекта производства буровзрывных работ ПАО «Ураласбест» показал, что в нем не учитывается ряд факторов, влияющих на эффективность подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом, а именно: структура локальных массивов, тип ВВ, вероятностный характер плотности заряжания скважин, конструкция зарядов и пр. технические параметры, не имеющие достаточного теоретического обоснования.

В связи с изложенным **целью работы** является разработки уточненной

методики обоснования параметров взрывного разрушения пород для достижения рациональной степени дробления руд и скальных пород при комплексном использовании недр.

2 АНАЛИЗ ОБЩИХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУРОВЗРЫВНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

2.1 Ретроспективный анализ показателей буровзрывных работ как объекта исследования

Основными показателями, характеризующими разработку месторождений минерального сырья, являются объёмы добычи полезного ископаемого и вскрышных пород. Одним из основных технологических показателей подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом и дальнейшему её доставки в пункты приёма и переработки является объём буровзрывных работ (рисунок 2.1).

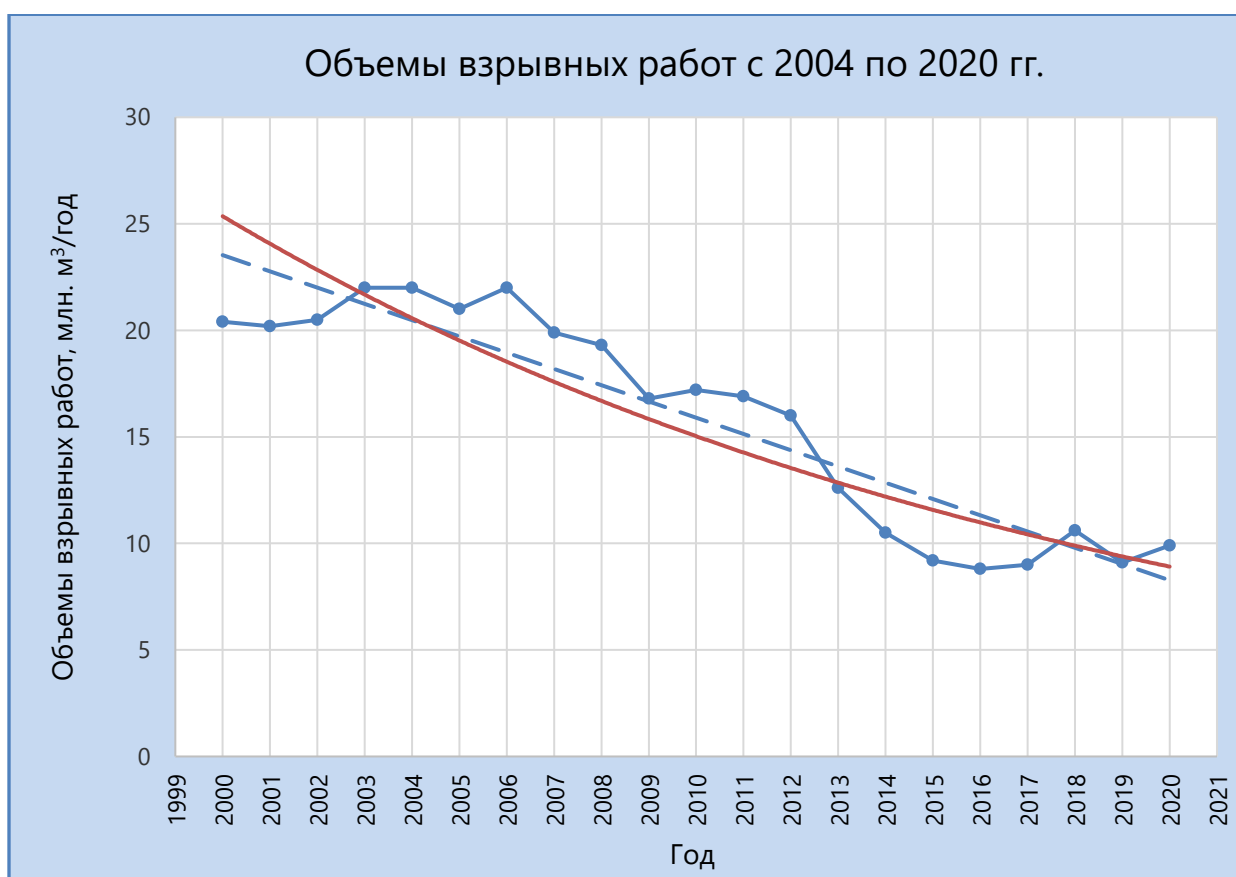


Рисунок 2.1 – Объём взрывных работ на Баженовском месторождении хризотил-асбеста в период с 2002 по 2020 гг.

Данные рисунка 2.1 свидетельствуют о том, что объем выемки горной массы за последние два десятилетия имеют тенденцию к сокращению. Одновременно в этот же период (рисунок 2.2) удельный расход ВВ в целом увеличивался, однако его динамика в значительной мере зависела от экспериментов, связанных с варьированием размеров сетки взрывных скважин, т.е. выхода горной массы с 1 п.м. скважины. Совместный анализ рисунков 2.2 и 2.3 свидетельствует о том, что сокращение выхода горной массы с 1 п.м. скважины с 37,4 до 33,3 м³/м (2011-2015 гг.) привело к увеличению расхода ВВ с 0,82 до 1,02 кг/м³. Начиная с 2016 года выход горной массы начал расти с 35,7 до 37,1 м³/м, что привело к снижению расхода ВВ до 0,96 кг/м³.

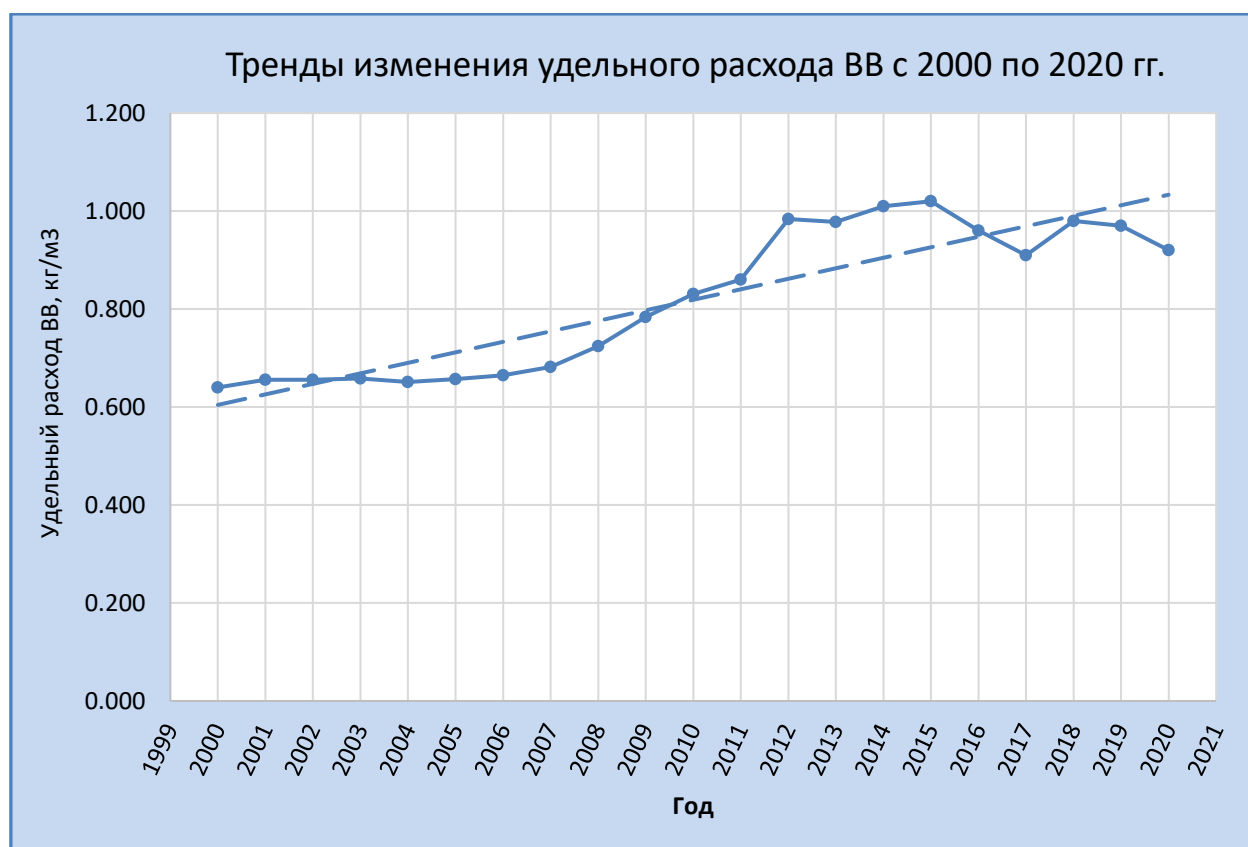


Рисунок 2.2 – Изменение удельного расхода взрывчатых материалов на Баженовском месторождении хризотил-асбеста в 1999-2020 гг.

Тем не менее следует отметить, что выход горной массы с 1 п.м. скважины в период 2012-2016 гг. был относительно стабилен. В 2019 и 2020 годах он имеет тенденцию к увеличению за счёт проводимых экспериментов

по расширению сетки бурения с целью управления качеством (гранулометрическим составом) разрушенной горной массы.



Рисунок 2.3 – Выход взорванной горной массы с 1 п.м. скважины диаметром 230-245 мм на Баженовском месторождении хризотил-асбеста в 2010-2020 гг.

Из предоставленной выше информации по динамике объёмов и структуры выемки скальных пород в 2000-2015 гг. видно, что удельный расход взрывчатых материалов растёт до 2015 года и достигает максимума $1,02 \text{ кг/м}^3$. Далее наблюдается его снижение до $0,960$ в 2016 году. В 2020 году удельный расход составил $0,92 \text{ кг/м}^3$. Из приведенных данных следует, что параметры буровзрывных работ в течение последних десятилетий неоднократно изменялись под влиянием целого комплекса факторов.

Причины изменения удельного расхода ВМ и выхода взорванной горной массы с одного погонного метра (п.м.) скважины обусловлены следующим:

- возрастанием доли трудновзрывааемых пород в карьерах;

– ростом водопритока и, как следствие – повышенной обводненностью скважин, часто с проточной водой, что приводило к частичному вымыванию заряда;

– появлением буровых установок с диаметром бурения технологических скважин меньше привычных 0,244 м (150-173 мм) и при даже небольшом уменьшении диаметра скважины пересматривалась сетка бурения.

При проведении экспериментов на разных породах сетка бурения корректировалась, как правило, в большую сторону. Это заметно начиная с 2016 года, когда был приобретена буровая установка DI 550 с диаметром долота 173 мм. Данную буровую установку начали активно использовать как полностью на бурении технологических блоков, так и для бурения только контурных рядов. С 2018 года данная буровая установка была переведена на работу в АО «Сухоложскцемент» и ее объёмы начиная с 2018 года начала выполнять буровая установка Сандвик D50KS с диаметром долота 233 мм. На графике виден рост выхода взорванной горной массы с 2018 года.

Начиная с 2018 года по предложению специалистов предприятия «Промтехвзрыв» ПАО «Ураласбест» началось проведение экспериментов по расширению сетки технологических скважин. Причиной тому были низкая (расчетная) величина колонки заряда, что приводило к увеличенному проценту негабарита в верхней части скважины.

Все вышеперечисленные факторы сказывались на изменении как выхода взорванной горной массы с одного погонного метра, так и удельного расхода ВМ.

Изменение доли трудновзрываеваемых пород также тесно связано с увеличением глубины горных работ. На рисунке 2.4 приведена динамика изменения удельного расхода ВВ при взрывном разрушении локальных массивов и выхода горной массы с 1 п.м. скважин в зависимости от глубины открытой разработки месторождения асбестовых руд.

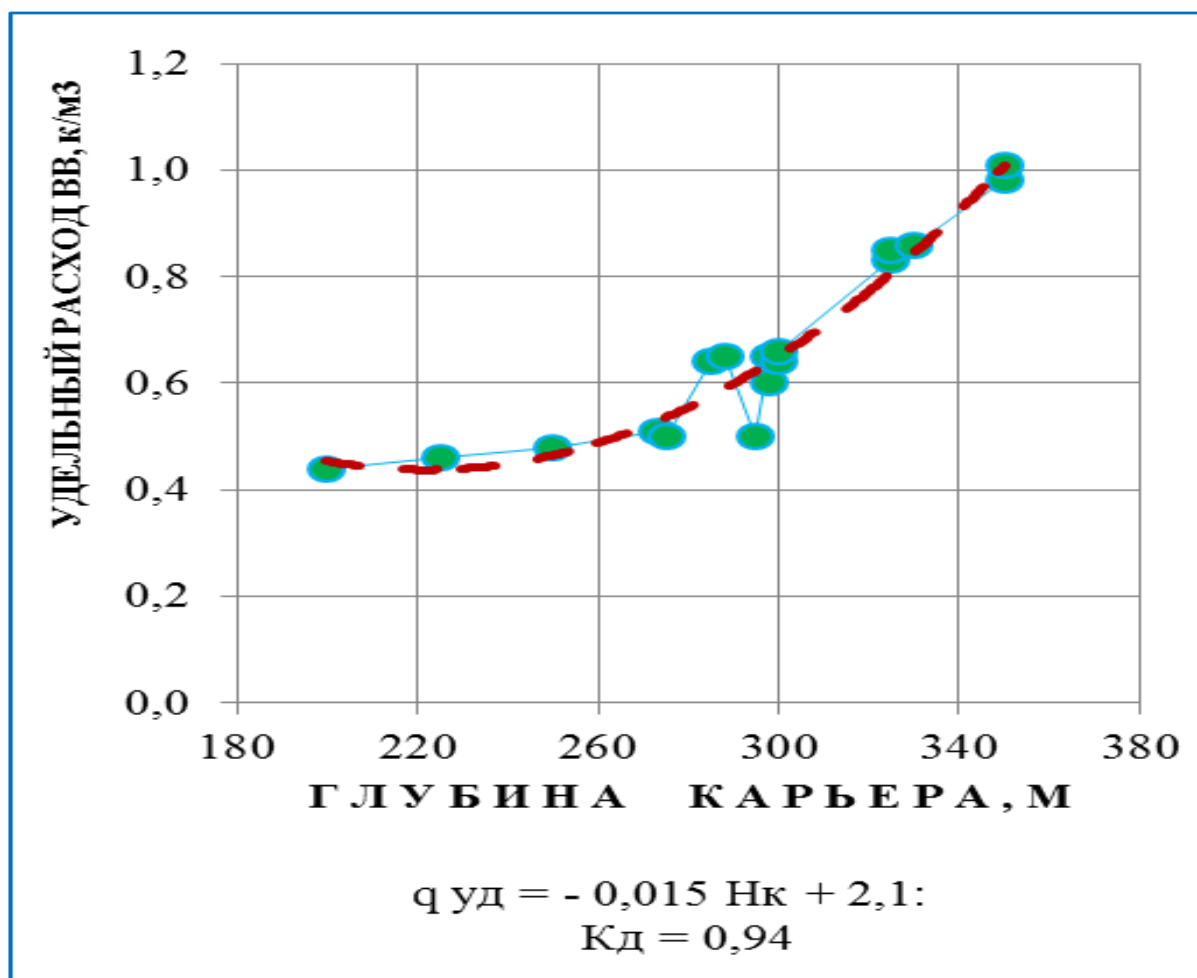


Рисунок 2.4 – Зависимость удельного расхода ВВ от глубины карьера

Анализ закономерностей, представленных на рисунках 2.5 и 2.6 свидетельствует о том, что в процессе разработки месторождения объёмы выемки трудновзрываемых пород V категории взрываемости всегда держатся на высоком уровне и являются превалирующими над остальными категориями пород.

Так, выемка перидотита варьирует в пределах от 2331 тыс. м³ в год до 5849 тыс. м³, а диорита соответственно – от 445 тыс. м³ до 947 тыс. м³ в год.

На круговых диаграммах рисунка 2.7 показаны доленое участие объёмов выемки различных видов взорванных пород в динамике развития горных работ на Баженовском месторождении хризотил-асбеста во времени и пространстве.

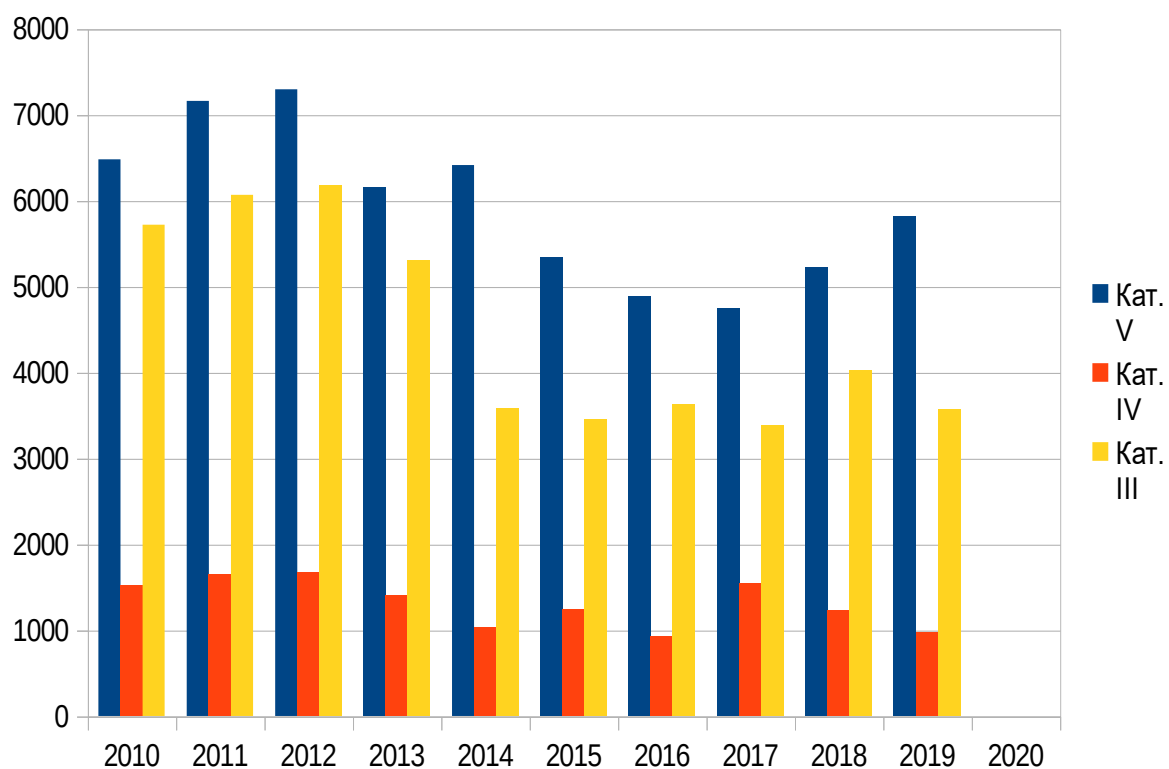


Рисунок 2.5 – Выемка пород по категориям взрываемости в тыс.т.

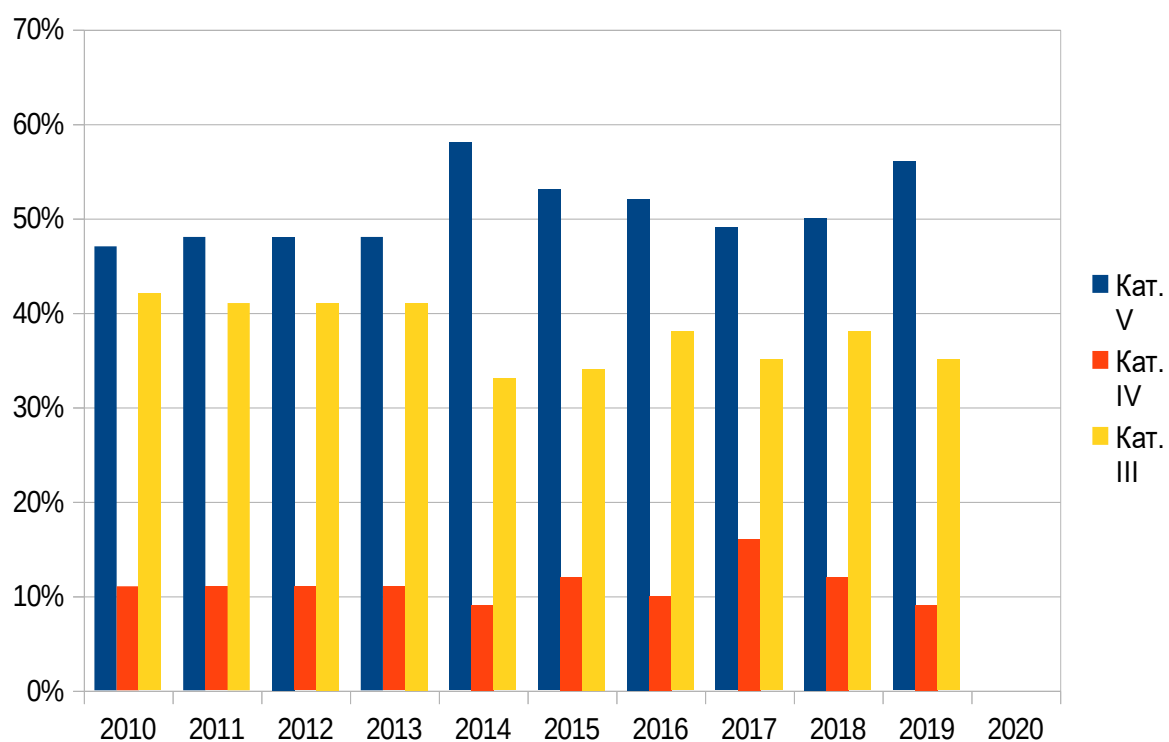


Рисунок 2.6 – Соотношение (%) извлекаемых во времени пород разных категорий взрываемости

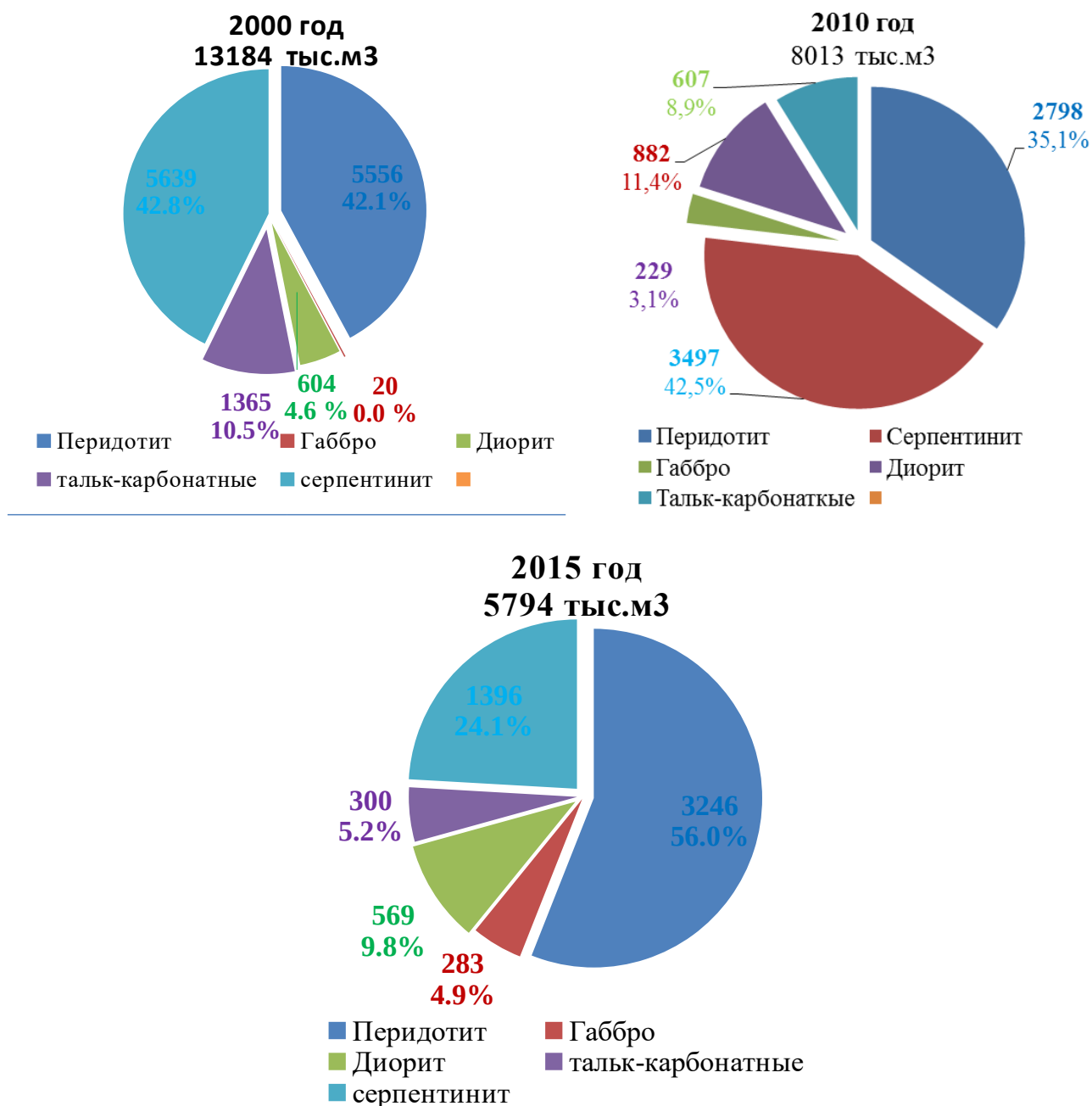


Рисунок 2.7 – Динамика структуры объёмов выемки скальных пород

Следует отметить, что в период с 2010 по 2013 год объёмы выемки скальных пород были ниже, чем в настоящее время. Так, в 2010 году объём выемки перидотита снизился до 2798 тыс. м³, диорита до 882 тыс. м³, габбро до 229 тыс.м³. В настоящее время наблюдается обратная тенденция в связи

с необходимостью увеличения производства различных сортов щебня и строительных материалов.



Рисунок 2.8 – Взаимосвязь средней крепости извлеченных пород и глубины разработки карьера

Анализ данных по взаимосвязи между глубиной разработки и средней крепостью извлечённых из карьеров горных пород (рисунок 2.8) свидетельствуют, что на каждые 100 м понижения рабочей зоны карьеров крепость увеличивалась на 0,21 ед. по шкале проф. М.М. Протоdjаконова. Теснота связи между этими факторами подтверждается высокими значениями коэффициентов детерминации и корреляции, которые равны 0,99 и 0,995.

Таким образом изменение выхода горной массы и удельного расхода ВВ напрямую зависит от соотношения в добываемых объемах горной массы наиболее трудновзрывааемых пород, доля которых увеличивается с глубиной разработки. В таблице 2.1 приведена характеристика физико-механических свойств скальных пород Баженовского месторождения, от величины которых в значительной мере зависят параметры и эффективность буровзрывных

работ, в том числе получение необходимого гранулометрического состава во взорванной горной массе.

Качество подготовки горной массы к выемке в условиях Баженовского месторождения характеризуется выходом негабарита, гранулометрическим составом разрушенной породы, а также компактностью (высотой и шириной) развала горной массы после взрыва. До настоящего времени основной характеристикой качества дробления горных пород считается выход негабаритных фракций во взорванной горной массе [23, 24, 25]. На рисунке 2.9 приведен тренд изменения выхода негабарита во взорванной горной массе. В последние годы он стабилизировался на уровне 0,62-0,64%.

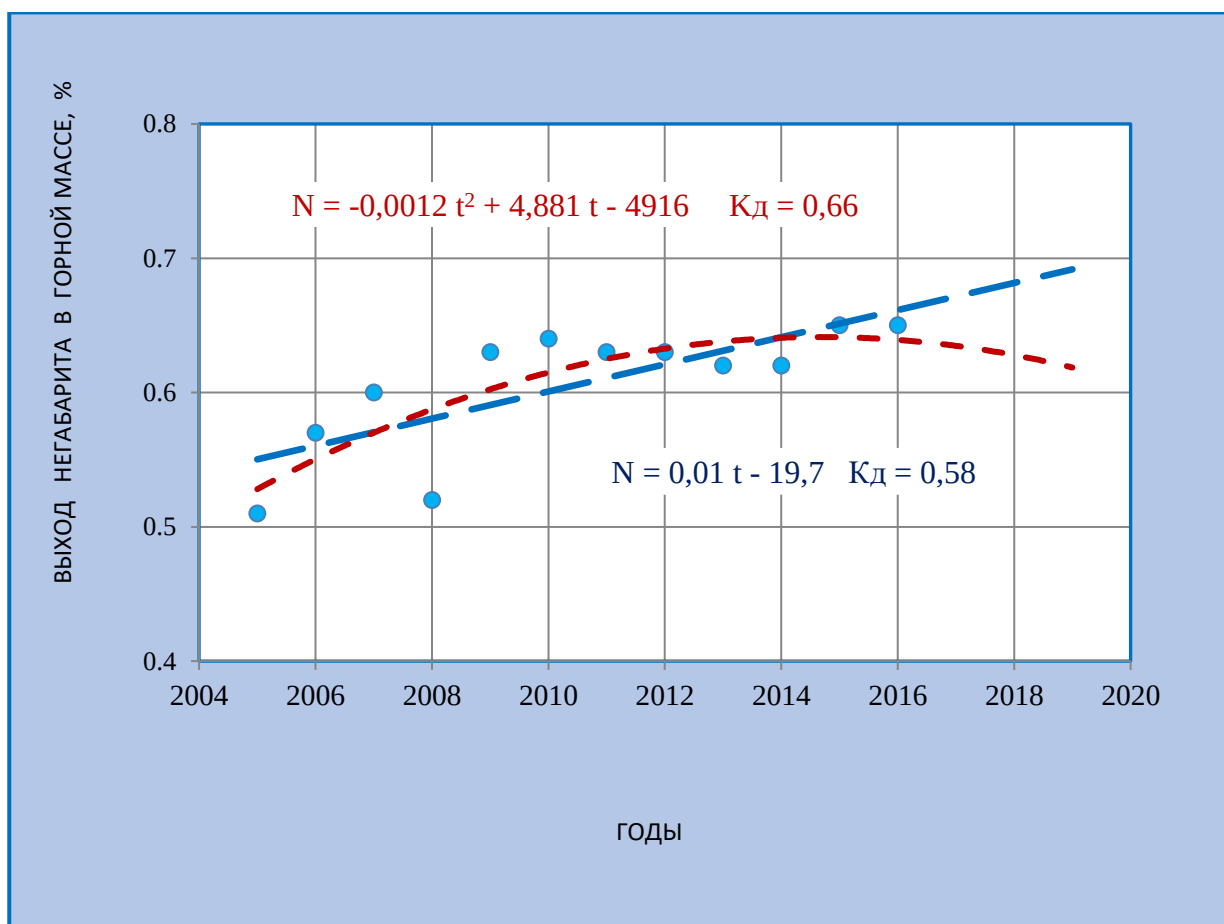


Рисунок 2.9 – Закономерность изменения выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе

Таблица 2.1 – Характеристика физико-механических свойств скальных пород Баженовского месторождения

Наименование горных пород	Объёмная масса, γ_0 кг/м ³ 10 ³	Общая пористость, п, %	Водопоглощение, W, %	Коэффициент динамической крепости, $f_{кр}$	Предел прочности		Удельное сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения, Φ_0 град.	Размягчаемость, m	Скорость волн, м/сек		Модуль Юнга, (динам.) E , МПа10 ²	Коэффициент Пуассона, μ
					растяжение, σ_p , МПа	сжатие $\sigma_{сж}$, МПа				продольной, V_p м/сек	поперечной, V_s м/сек		
Габбро	2,86 – 3,13	0,32 – 6,48	0,07 – 0,30	7,9 – 28,6	12,6 – 32,9	55,1 – 216,5	15,5 – 43,0	30 – 54	0,61 – 1,00	5368 – 6900	3166 – 4100	777,9 – 1240,3	0,19 – 0,32
	Ср. 3,02	Ср.1,93	Ср.0,21	Ср.15,2	Ср.23,3	Ср.144,7	Ср.31,9	Ср.42	Ср.0,80	Ср.6364	Ср.3715	Ср.1037	Ср.0,23
Диориты	2,74 – 2,94	0,36 – 3,44	0,04 – 0,25	6,6 – 30,0	12,5 – 29,4	71,8 – 209,5	16,0 – 44,0	32 – 48	0,76 – 0,86	4890 – 6288	3106 – 3589	696,0 – 937,0	0,18 – 0,29
	Ср.2,83	Ср.1,42	Ср.0,12	Ср.17,3	Ср.21,6	Ср.135	Ср.30,1	Ср.42	Ср.0,81	Ср.5824	Ср.3412	Ср.823,0	Ср.0,25
Перидотиты	2,64 – 3,03	0,34 – 6,50	0,02 – 0,29	7,0 – 25,0	8,7 – 42,8	94,5 – 235,5	14,0 – 48,0	31 – 55	0,40 – 0,99	4997 – 7562	2445 – 3753	446,8 – 1113,0	0,18 – 0,38
	Ср.2,82	Ср.1,59	Ср.0,10	Ср.14,7	Ср.20	Ср.138,8	Ср.29,5	Ср.44	Ср.0,81	Ср.6267	Ср.3257	Ср.782,1	Ср.0,28

2.2 Анализ основных достигнутых технико-экономических показателей буровзрывных работ

Основными технико-экономическими показателями буровзрывного комплекса являются: производительность и себестоимость бурения 1 п. м. скважин, себестоимость изготовления взрывчатых веществ и взрывания 1 м³ горной массы.

Динамика себестоимости бурения скважин характеризуется следующими данными. На рисунке 2.10 показано изменение себестоимости бурения 1 п.м. скважины диаметром 230-245 мм на буровых установках:

- с до 2018 года – СБШ 250 МН (6 ед.) и с ноября 2016 года Sandvik DI550;
- с 2018 года 5 ед. СБШ 250 МН и 1 ед. Sandvik D50 KS;
- с 2019 года 4 ед. СБШ 250 МН и 2 ед. Sandvik D50 KS.



Рисунок 2.10 – Себестоимость бурения скважин

Как видно, с приобретением нового бурового оборудования наблюдается рост себестоимости бурения 1 п.м. скважины диаметром 173 мм и 230 мм. Это объясняется более высокими амортизационными отчислениями новых буровых установок, а также высокой стоимостью запасных частей и услуг сервисной службы.

Вывод из эксплуатации СБШ 250 МН происходит по причине их полного физического износа, в т.ч. излома рам, восстановление которых или замена экономически нецелесообразна. При выводе буровых установок СБШ из эксплуатации появляется оборотный фонд запчастей, который восстанавливается собственной ремонтной службой и несколько компенсирует возрастание расходов на бурение.

Закономерности изменения во времени себестоимости изготовления ЭВВ (порэмита 1А) показаны на рисунке 2.11.

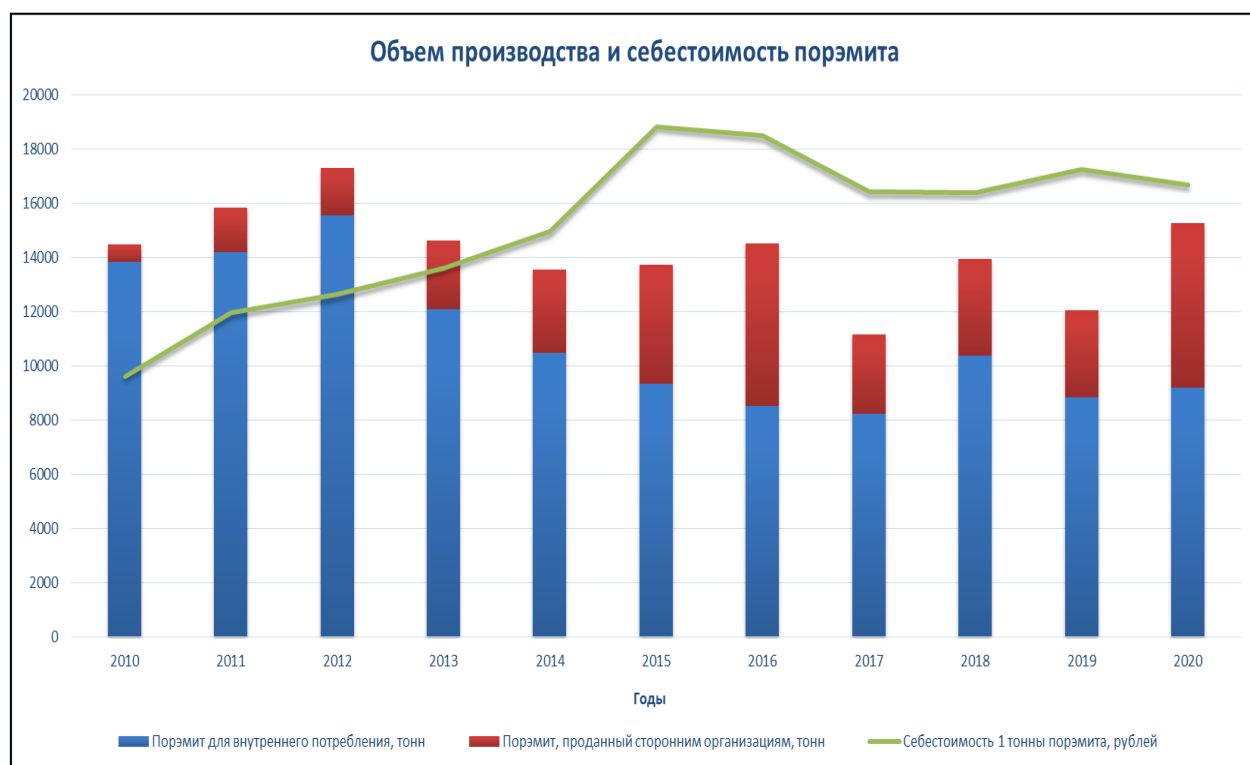


Рисунок 2.11 – Зависимость себестоимости производства Порэмита 1А от объёмов его производства

Как следует из рисунка 2.11, при снижении объемов производства Порэмита 1А себестоимость его изготовления имеет тенденцию к росту. Это

объясняется тем, что постоянные затраты остаются неизменными и их относительная доля при сокращении ежегодных объемов горных и взрывных работ возрастает. Кроме того, ежегодно увеличивается стоимость сырья для производства ЭВВ – селитра аммиачная, масло индустриальное, кислоты жирные талловые и пр.

Стабилизация себестоимости изготовления ЭВВ достигается расширением услуг взрывного цеха, предоставляемых сторонним организациям. Из рисунка 2.11 видно, что при общем снижении объемов Порэмита 1А в карьерах ПАО, увеличение сбыта продукции (ЭВВ) сторонним организациям дает эффект стабилизации себестоимости производства ЭВВ, начиная с 2015 года.

Себестоимость взрывания так же имеет тенденцию к росту. Из рисунка 2.12, показывающего динамику изменения себестоимости взрывания с 2010 года по 2020 включительно, видно, что до 2015 года прослеживается стабильный рост себестоимости взрывания 1 м³ горной массы. Основной причиной роста себестоимости взрывания является рост цен на расходные материалы (аммиачная, натриевая и калиевая селитры, индустриальное масло и пр.) и средства взрывания.



Рисунок 2.12 – Динамика изменения себестоимости взрывания с 2010 год по 2020 год

С 2015 года себестоимость взрывания стабилизировалась за счёт применения технологии рассредоточения заряда в скважине. Стабилизировалась за счет снижения затрат на ЭВВ (масса заряда), но добавилась дополнительные затраты на рассредоточение заряда (ДШ, средства рассредоточения). Удельный расход ЭВВ - снижение до 10%.

Динамика общей себестоимости буровзрывных работ, являющаяся обобщающим показателем, представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Общая себестоимость буровзрывных работ в 2010-2020 гг.

Годы	Себестоимость порэмита в 1 м ³ взрываваемой горной массы, рублей	Себестоимость бурения 1 м ³ средняя, рублей	Стоимость средств инициирования в 1 м ³ взрываваемой горной массы, рублей	Всего, рублей
2010	8,01	15,33	3,22	26,56
2011	10,24	13,14	3,79	27,16
2012	12,42	15,84	5,05	33,31
2013	13,31	16,13	5,54	34,98
2014	15,10	15,68	8,29	39,06
2015	19,20	17,51	9,78	46,48
2016	17,73	16,23	10,30	44,26
2017	14,93	13,79	11,86	40,59
2018	16,05	14,50	10,69	41,24
2019	16,72	17,23	11,08	45,03
2020	15,34	18,01	11,62	44,97

На рисунке 2.13 представлен график, на котором общая себестоимость буровзрывных работ, начиная с 2010 года, для наглядности разложена по составляющим. Стабильный рост всех составляющих замечен до 2015 года. С 2015 года было принято решение о применении рассредоточенных скважинных зарядов, что привело к снижению общей себестоимости 1 м³ буровзрывных работ. Незначительный рост текущих расходов и даже их снижение отмечается в процессе изготовления и расходования ЭВВ. Доля эмульсионных ВВ в общей себестоимости начинает падать после 2015 года по причине снижения общего веса заряда в скважине, которое обусловлено

рассредоточением заряда и, соответственно, снижением удельного расхода ВВ.

Отмечается устойчивый рост доли затрат на средства инициирования вплоть до 2016 г., а в период 2017-2020 гг. доля себестоимости по средствам инициирования стабилизирована и практически не изменяется, хотя и выросла по причине увеличения расходов на дополнительную установку промежуточных детонаторов в рассредоточенных зарядах.

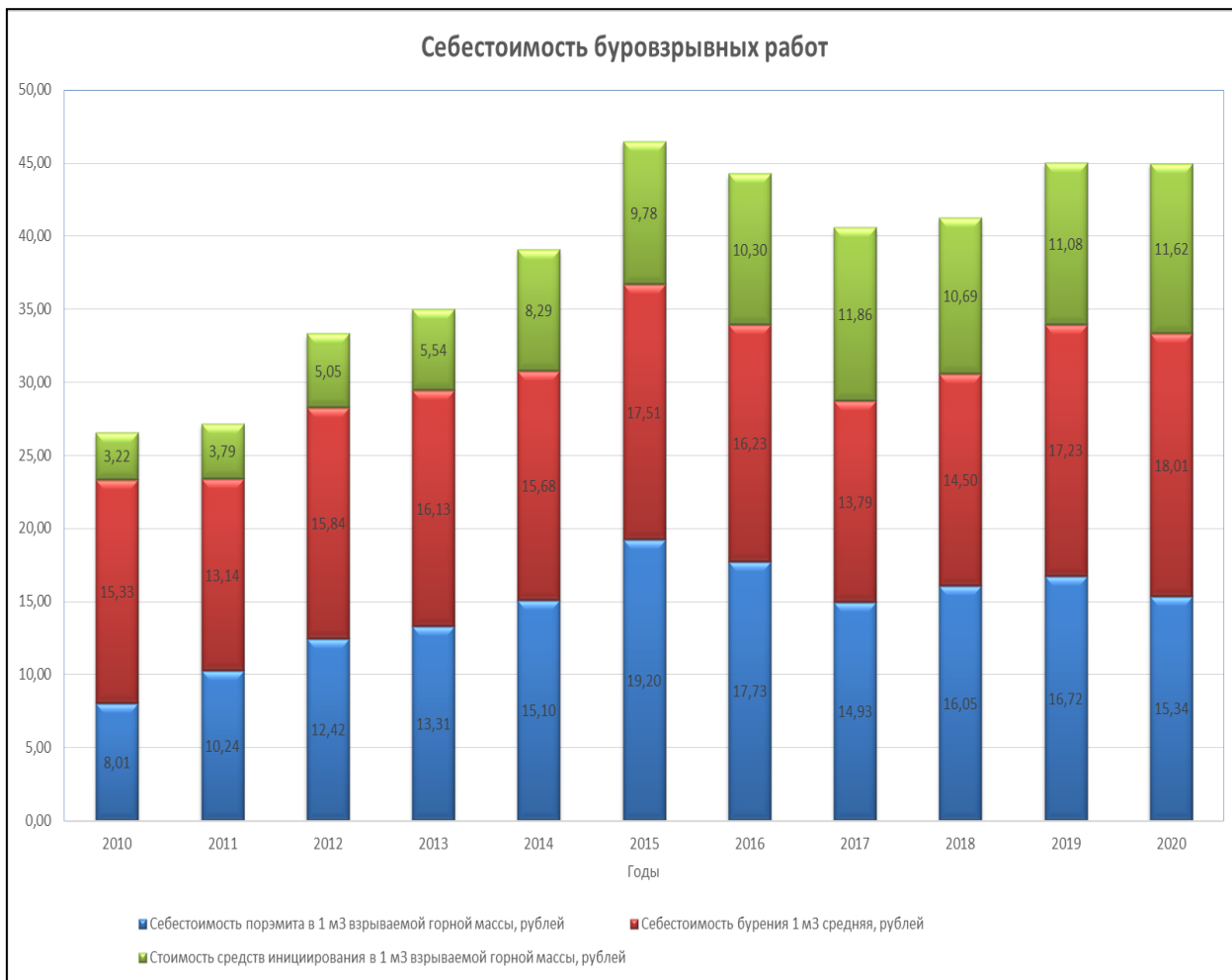


Рисунок 2.13 – Общая себестоимость буровзрывных работ в 2010-2020 гг.

Таким образом компенсация увеличения текущих расходов и их относительная стабилизация достигнута за счет комплекса инженерно-технических мероприятий, включающих:

– организацию восстановления изношенных запчастей собственной ремонтной службой;

- повышение степени использования бурового и зарядного оборудования во времени;
- расширение объема предоставляемых услуг по ведению взрывных работ с использованием ЭВВ сторонним организациям;
- внедрение результатов исследовательских работ, связанных с сокращением удельного расхода ВВ за счет применения технологии рассредоточения зарядов по длине скважины.

2.3 Особенности взрывных работ при использовании эмульсионных взрывчатых веществ

В связи с тем, что на большинстве крупных карьеров в настоящее время применяются малочувствительные эмульсионные взрывчатые смеси, основное внимание при проектировании и подготовке технологических взрывов должно уделяться вопросам инициирования, подбору промежуточного детонатора по составу и конструкции, выбору диаметра скважинного заряда, конструкции заряда, контролю физических параметров изготовленного ВВ, что в конечном итоге обеспечивает в совокупности полную и качественную детонацию заряда и, как следствие – качественное дробление горной массы.

Одним из наиболее значимых факторов, влияющих на проектирование взрыва, являются геометрические параметры уступа. Высота уступа на карьерах обычно является постоянной величиной и устанавливается в зависимости от рабочих параметров выемочно-погрузочного оборудования и взаимосвязана с параметрами развала взорванной горной массы. Наряду с отмеченным, высота уступа накладывает ограничения на выбор диаметра заряда, и тем самым, влияет на сменную производительность бурового оборудования. Каждой высоте уступа соответствует минимальная ширина рабочей площадки, при которой обеспечивается стабильность погрузочно-транспортных работ, как до проведения взрыва в карьере, так и после него.

Свойства пород в массиве, такие как плотность и прочность, характеризуются значительными изменениями, как по площади, так и по глубине разрабатываемого месторождения и безусловно должны учитываться при проектировании и подготовке технологических взрывов. Все горные породы в целике при разрушении разрыхляются и при этом каждый тип из них имеет свой коэффициент разрыхления.

Также необходимо учитывать увеличение объёма взрываемого массива, поскольку оно непосредственно влияет на выбор схемы замедлений при инициировании зарядов ВВ и на число рядов скважин, взрываемых за один приём. При фронтальном взрывании расширение объёма происходит в двух направлениях, а при двух боковых свободных поверхностях – по трём направлениям. Увеличение размера наблюдается в пределах от 5 до 33%, составляя в среднем 18% [16].

Структурные особенности массива горных пород, их обводненность и скорость распространения в них энергии также оказывают влияние на параметры буровзрывных работ. Трещины в массиве поглощают и рассеивают напряжения, создаваемые при взрыве, и, тем самым, значительно ослабляют их воздействие [17, 18]. Они служат естественными каналами для утечки энергии взрыва, поэтому при проектировании, во-первых, должна обеспечиваться максимальная сохранность колонки заряда ЭВВ в скважине ввиду его текучести, особенно двухкомпонентного ЭВВ, коим и является Порэмит 1А. Во-вторых, также обеспечение «запирания» продуктов детонации заряда ВВ с целью увеличения периода их воздействия на разрушаемый массив при помощи забойки, а в-третьих – увеличение периода воздействия продуктов детонации возможно при помощи подбора замедлений средств инициирования. На параметры технологического взрыва на горных разработках влияет непосредственно скорость волны сжатия в породе V_p (или – продольной, звуковой, Р-волны).

Известно, что отношение скорости волны сжатия (V_p) к скорости детонации ВВ (V_d), частное от деления длины заряда ВВ (L_3) на его диаметр (d_3), и расположение инициирующего заряда определяют форму сложного волнового фронта, образованного всеми отдельными напряжениями сжатия, возникшими в породе от каждой точки заряда ВВ. [16] Сложная волна напряжений бывает цилиндрической, сферической или конической.

Для образования волны напряжений цилиндрической формы необходимо, чтобы удлинённый заряд инициировался во всех точках мгновенно, что на практике трудно осуществить, поскольку требуется очень частое расположение боевиков, инициируемых одновременно.

Сферическая волна напряжений образуется от центрально инициируемых зарядов с низким коэффициентом L_3/d_3 и от удлинённых зарядов в области, прилегающей к точке инициирования, независимо от отношения V_p к V_d . В остальном объёме породы, окружающей удлинённый заряд, образуется сложный конический фронт волны, если скорость детонации превышает скорость продольной волны в породе (V_p). Если V_d равна или меньше V_p , то сложная волна должна быть по форме сферической.

Коническая волна образуется от удлинённого заряда ВВ и при значениях скорости детонации (V_d) ниже скорости продольной волны в породе (V_p). Это возможно в том случае, когда заряд состоит из малочувствительных взрывчатых смесей, содержащих несколько рассредоточенных по длине заряда промежуточных детонаторов, и инициируется детонирующим шнуром, скорость детонации которого превышает V_p для всех пород, за исключением плотных или когда заряд состоит из индивидуальных ВВ [18].

Исходя из вышеизложенного – более равномерное и качественное распределение энергии происходит именно волной цилиндрических напряжений, но конструкция заряда для получения цилиндрической волны сложна в технологическом плане и главное в экономическом, так как в

данном случае приходится устанавливать по всей длине заряда эмульсионного ВВ дорогостоящие промежуточные детонаторы. Кроме того, для получения качественной цилиндрической волны необходимо их расположение точно по центральной оси скважины, что ведет к дополнительным затратам на применение специальных центрирующих приспособлений.

При постановке одного промежуточного детонатора и его инициировании получаем сферическую волну напряжений. Как правило, при использовании с эмульсионными ВВ стараются применить промежуточный детонатор с более высокой скоростью детонации. И именно в месте его установки обычно при замере заметен скачок скорости и потом ее снижение и стабилизация по мере удаления от точки инициирования. Данный способ инициирования является самым простым в технологическом плане и экономическом. Но в то же время малоэффективным для эмульсионных взрывчатых веществ с более низкой скоростью детонации, чем применяемый промежуточный детонатор. При определенных условиях (отклонение плотности готового ЭВВ к границам определенных техническими условиями) в этом случае возможно даже затухание скорости детонации.

При постановке рассредоточенных зарядов по длине скважины образуются конические волны напряжения.

Этот способ является на сегодня самым технологически оправданным, так как позволяет распределить заряды и точки инициирования в зависимости от задачи и состава породы. Так же этот способ инициирования заряда может позволить достигнуть снижения удельного расхода ЭВВ, что даёт экономический эффект как в направлении экономии ЭВВ, так и при снижении переизмельчения горной массы при определённых целях получения нужного гранулометрического состава. Недостатком данного способа является получение одновременного инициирования рассредоточенных зарядов, причём отклонение в миллисекундном

отношении может привести к некачественному взрыву или подбоем и отказу скважинного заряда. Идеальный вариант в данном случае – применение детонирующего шнура по всей длине скважины по причине его одновременного взрывания и инициации рассредоточенных зарядов. Но применение детонирующего шнура при взрывании негативно сказывается на работоспособности ЭВВ ввиду его разуплотнения, то есть нарушение его структуры и изменению плотности [97]. Поэтому для качественного инициирования рассредоточенных зарядов необходимо применение неэлектрических средств инициирования с нулевым замедлением, комбинированные схемы с неэлектрическими системами инициирования (НСИ) с различными замедлениями и детонирующим шнуром, а также применение электронных средств замедления таких как Искра-Т.

При проектировании технологических взрывов на горных предприятиях необходимо учитывать всевозможные формы волн напряжений, образующихся при использовании различных схем и методов инициирования скважинных зарядов. Для любых конкретных условий существует оптимальная длина скважины, обусловленная местом инициирования и расстоянием между соседними зарядами, минимальным количеством забойки и величиной перебура, необходимой для данных условий. Взрывание горных пород, осуществляемое в обводненных условиях, требует, как правило, большего количества забоечного материала. Обводнённые породы разрушаются лучше, поскольку напряжения в этом случае передаются значительно легче и при этом происходит меньшее рассеивание энергии [16].

Взрывчатые вещества и их свойства должны соответствовать взрывающей среде. Особого внимания в условиях практического применения требуют плотность заряжания, скорость детонации, чувствительность и водостойчивость ВВ. Мощность ВВ является главным фактором, но необходимо помнить, что давление, развиваемое при взрыве ВВ, является

функцией от плотности и скорости детонации заряда. Плотные сорта ВВ развивают высокие давления и являются наиболее работоспособными.

Исследованиями установлено, что результат воздействия на всякую среду определяется характером воздействия и реакцией среды [45, 46, 47]. Оптимальные условия и параметры разрушения массивов горных пород определяются уровнем информированности об объекте исследований, на который направленно внешнее воздействие. То есть, для эффективного производства горных работ необходимо знать структуру массива, физико-механические свойства и характеристики горных пород в их естественном залегании. Цели воздействия на горный массив бывают различными. Результаты дробления однородных сред или сред с известными свойствами предсказуемы. Эксперименты по дроблению минералов и даже квазиоднородных горных пород в большинстве своем повторяемые и зависят в основном от исходных условий.

Внешнее воздействие на массив горных пород взрывом можно отнести к наиболее сложным физическим явлениям из-за быстроты и определенной нестабильности процесса разложения взрывчатого вещества. Однако, и в этом случае, при экспериментальных воздействиях на однородные среды достигается определённое постоянство полученных результатов [48], что позволяет делать обобщения, набирать полуэмпирические концепции и связывать их с имеющимися теоретическими разработками. С другой стороны, процессы взрывного разрушения неоднородного сложно структурного горного массива до сих пор плохо поддаются объяснению, которое бы стабильно подтверждалось производственной практикой [49, 50].

Основная причина заключается в недостатке информации о свойствах и строении массива при обосновании параметров буровзрывных работ. Для получения сведений о массиве используется ряд методов, а именно: бурение, отбор проб для определения физико-механических свойств пород, визуальные методы изучения трещиноватости и другие.

Изучение свойств массива по результатам буримости имеет два направления. Наиболее распространён способ классификации пород по времени и показателям пробного бурения [50]. Согласно этому способу, при пробном бурении на локальном массиве делают не менее трех полостей (скважин или шпуров). Результаты зависят от износа режущего инструмента, давления сжатого воздуха, подаваемого компрессором, и их типа. При этом значительные погрешности возникают при тестировании трещиноватых пород. За рубежом широко применяется способ оценки прочностных свойств пород по энергетическим показателям бурения взрываемых скважин [51]. В России классификация по энергоёмкости применительно к шарошечному способу бурения была разработана И.А. Тангаевым [98]. Он доказал, что на энергоёмкость влияют прочность и трещиноватость пород. При этом, чем более трещиноватый массив, тем меньше энергоёмкость бурения и тем легче он разрушается при взрыве. Таким образом, ему удалось по энергоёмкости шарошечного бурения оценить сопротивление пород взрывному разрушению в обуренном объеме блока, чего не удавалось сделать по другим классификационным критериям. К недостаткам, присущим этому способу, добавляется опосредованность сведений о массиве, полученных через энергетические или электрические параметры, которые изменяются в процессе бурения нелинейно относительно вариации свойств пород.

В лабораторных условиях для испытаний используются образцы пород из керна или из монолитов, отобранных на забое. Первое, что испытывают они – это разгрузка от горного давления, приводящая к изменению их свойств. При этом не учитывается естественная обводненность пород и влажность образцов, которая изменяется в процессе их отбора и испытаний. Образцы испытываются, как правило, без учета бокового давления, зависящего от глубины его отбора и без учета влияния основных систем трещин. Практическую значимость для характеристики поведения массива горных пород представляют те результаты исследований, в которых

установлена зависимость прочности от структурных особенностей пород. Таким образом, лабораторные испытания на образцах могут дать только косвенное представление о поведении горного массива при воздействии реальных нагрузок. В большинстве случаев эти данные являются основой расчета параметров разрушения [45, 46, 50]. Следует отметить тот факт, что на горных предприятиях отсутствует практика оперативного получения сведений о свойствах горных пород в локальных массивах перед их обушиванием, чтобы на их основе корректировать расчётные параметры разрушения их в соответствии с изменяющимися горно-геологическими условиями.

Анализ современных технических средств и аппаратуры показывает, что создать информационную базу для разработки и использования новых технологий воздействия на горный массив позволяет применение геофизических методов исследования, основанных на изучении распространения упругих волн, возбуждённых искусственно с помощью тех или иных источников: ударов, взрывов и т.п. Поскольку горные породы отличаются по упругим свойствам, то обладают разными скоростями распространения в них упругих волн. Это приводит к тому, что на границах слоёв, образуются отражённые, преломлённые, дифрагированные и другие волны, регистрируя которые на земной поверхности, можно получить информацию о скоростном разрезе, а по нему судить о геологическом строении массивов.

В результате исследований физико-механических свойств горных пород в естественном залегании методом сейсмометрии необходимо определить важнейшие показатели, необходимые для расчёта технологических параметров буровзрывных работ. Такими показателями являются сопротивление одноосному сжатию, плотность и пористость пород.

Адекватность отражения состояния горного массива с помощью сейсмометрии можно оценить результатами практического применения.

Косвенная связь сейсмических параметров с показателями физико-механических свойств пород определяется принципиальным различием воздействия на среду при прохождении сейсмических волн и при статических нагрузках в процессе испытаний образцов пород.

Объектом воздействия буровзрывных работ в горном деле является породный массив. Чрезвычайная сложность, неоднородность состава и строения массива обуславливает ситуацию, когда проектирование рациональных параметров буровзрывных работ опирается преимущественно на эмпирическую информацию о характере протекания физических процессов в ходе взрывания горных пород [1]. Вместе с тем проведение экспериментальных исследований в условиях реального массива отличаются значительной сложностью и трудоемкостью. В ряде случаев такие эксперименты просто невозможны (в силу опасности последствий взрыва). Поэтому использование моделей является важнейшим и подчас единственно возможным средством получения информации. Однако физическое моделирование взрыва вне специализированных организаций в настоящее время практически невозможно в силу отсутствия доступа к взрывчатым материалам.

Фундаментальными исследованиями Г.И. Покровского [19], И.С. Фёдорова [2], В.А. Падукова [3], Л.П. Орленко [4] и др. установлена аналогия между результатами дробления горных пород ударом и взрывом. Методика определения дробимости горных пород ударом разработана Л.И. Бароном [5]. Она заключается в разрушении образца горной породы путём однократного сбрасывания на образец с высоты 0,5 м груза 16 кг. Как основной результат испытания принимается суммарный выход фракции $V_{\text{макс}} = 7$ мм. Специальные серии экспериментов, проведенных для проверки корреляции показателей механического ударного разрушения с соответствующими характеристиками взрыва, убедительно свидетельствуют о тождестве результатов. Так, параллельные опыты по разрушению образцов ударом и

взрывом капсуля-детонатора, закрепленного на поверхности образца, показали надежную корреляционную связь между показателями $V_{\text{макс}}$, установленными двумя описываемыми способами [6]. Средний коэффициент вариации составил 23,3%. Такие же результаты получены при сопоставлении результатов дробления ударом и действием внутреннего заряда ВВ. Здесь коэффициент вариации составил 16%. Развитие данных исследований [5] в шахтных условиях показали, что при расчетах параметров шпуровой отбойки в проходческих забоях адекватным критерием сопротивляемости горных пород разрушению взрывом является показатель дробимости $V_{\text{макс}}$. Все это позволило Л.И. Барону [6] сформулировать важный вывод: «Между разномасштабными процессами разрушения одних и тех же горных пород в результате однотипных динамических воздействий при некоторых условиях имеет место функциональное подобие». Главным таким условием является скальный тип разрушаемых пород.

Таким образом, особенностями взрывных работ являются:

- геометрические параметры уступа;
- свойства пород массива, такие как плотность и прочность;
- объём взрываемого блока;
- структурные особенности массива (обводненность, трещиноватость и скорость распространения в нем энергии);
- расположение и конструкция заряда;
- расположение в заряде точки инициирования;
- линейные размеры промежуточного детонатора;
- детонационные характеристики промежуточного детонатора и заряда в целом.

2.4. Экспресс-метод определения дробимости пород и линии сопротивления по подошве с использованием молотка Шмидта

В результате проведённых исследований сформирована процедура (алгоритм) расчёта параметров БВР, обеспечивающих заданное качество

дробления горных пород. На первом этапе в лабораторных условиях осуществляется моделирование дробящего действия взрыва на ударном копре. Операция дробления широко распространена при подготовке к переработке полезных ископаемых, их обогащению, при производстве строительных материалов. Поэтому, характеристики дробимости горных пород необходимы для расчета параметров технологических процессов. Дробимость – это сопротивляемость породы измельчению при воздействии динамической нагрузки. Показатель дробимости горной породы предложено определять через относительное сопротивление породы измельчению при воздействии ударной нагрузки [1 – 2]. Дробимость определяется гранулометрическим составом продуктов разрушения образца массой 50 – 70 г при однократном сбрасывании на него груза 16 кг с высоты 0,5 м. Показатель дробимости (см^3) численно равен объему фракции прошедшей через сито с отверстиями $d_{\text{max}}=7\text{мм}$ и определяется по формуле:

$$A = m_7 / \rho, \quad (2.1)$$

где m_7 – масса фракции -7 мм, г; ρ – объемная масса горной породы, г/см^3 .

Выделяют шесть классов дробимости (таблица 2.3). Использование такого подхода достаточно удобно в лабораторных и производственных условиях, но, тем не менее, авторы (Барон Л.И. и др.) отмечают, что данные по одной фракции не являются достаточно надежными. Полный анализ гранулометрического состава разрушенных пород повышает трудоемкость исследований. При этом конкретное распределение кусков разных размеров является статистической реализацией лишь одного из возможных результатов испытаний, что негативно сказывается на точности получаемых данных [3].

Таблица 2.3 – Классы дробимости горных пород

Класс	Характеристика пород	$V_{\max}$, см ³
I	В высшей степени трудноразрушаемые	До 1,8
II	Весьма трудноразрушаемые	1,8-2,7
III	Трудноразрушаемые	2,7-4,0
IV	Средней разрушаемости	4,0-6,0
V	Легкоразрушаемые	6,0-9,0
VI	Очень легкоразрушаемые	Более 9,0

Разработка нетрудоемкой и оперативной экспресс-методики определения дробимости пород, непосредственно в полевых условиях, позволит повысить скорость получения и обработки данных, необходимых для своевременного принятия или корректировки технологических решений на производстве. В настоящее время, при решении задач геомеханики и геотехнологии, все более актуальными и востребованными становятся не прямые (косвенные) экспресс-методы оценки механических свойств пород с применением молотка Шмидта. Испытания проводятся в полевых условиях и не требуют высокой квалификации персонала. Неразрушающий метод оценки прочностных свойств приконтурного массива горных пород с использованием молотка Шмидта был принят Международным обществом по механике горных пород (ISRM - International Society for Rock Mechanics) и Американским обществом по испытаниям материалов (ASTM - American Society for Testing and Materials).

В отличие от лабораторных методов определения механических характеристик горных пород, результатом измерений с применением этого экспресс-метода является величина отскока бойка молотка Шмидта. Для перехода от величины отскока (H_r) к механическим характеристикам, необходимо предварительное лабораторное определение зависимостей изменения определяемых свойств от величины H_r , с последующей калибровкой применяемого прибора (молотка Шмидта).

Одним из основных механических свойств горных пород является предел прочности на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$). [4 – 8]. Тарировка молотков Шмидта, традиционно, выполняется именно для этой характеристики. Многочисленные эмпирические формулы, описанные линейными, степенными, экспоненциальными зависимостями, встречаются в многих научных трудах, в том числе, зарубежных. [9 – 24]

Известно, что сопротивление раскалыванию и раздавливанию кусков горной породы определяется прочностью при растяжении и сжатии. Профессор О.Г. Латышев установил следующую эмпирическую зависимость между дробимостью (V_{max}) и крепостью эффузивных пород, которая выражается формулой (2.2):

$$V_{max} = 10^3 / (23f + 21), \quad (2.2)$$

где f – коэффициент крепости по М.М. Протодяконову.

Полученное для формулы (2.2) корреляционное соотношение $\eta = 0,76$ свидетельствует о статистической значимости зависимости.

Известно также, что коэффициент крепости можно ориентировочно рассчитать по формуле (2.3):

$$f = 0,1\sigma_{сж}, \quad (2.3)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности при одноосном сжатии, МПа.

Таким образом, комбинируя выражения (2.2) и (2.3), можно из дробимости получить формулу для расчета предела прочности пород при одноосном сжатии

$$\sigma_{сж} = \frac{435}{V_{max}} - 9, \quad (2.4)$$

При исследовании прочностных свойств серпентинитов Джетыгаринского месторождения ИГД УрО РАН была установлена зависимость между прочностью на сжатие и отскоком бойка молотка Шмидта, которая выражается формулой (2.5):

$$\sigma_{сж} = 0.0017 \cdot e^{0.14 \cdot Hr} + 0.3 \cdot Hr - 0.0017 \quad (2.5)$$

где H_r – величина отскока бойка молотка Шмидта.

Полученные зависимости являются основанием для решения задачи расчета главных параметров скважинных зарядов – удельного расхода ВВ и линии сопротивления по подошве по заданной или установленной степени дробимости пород. На первом этапе на основании совместного решения выражений (2.4) и (2.5) можно получить выражения для определения расчетной дробимости пород по отскоку бойка молотка Шмидта (2.6):

$$V_{max} = \frac{435}{0,0017e^{0.14H_r} + 0.3H_r + 9}, \quad (2.6)$$

Сопоставление вида эмпирических зависимостей, увязывающих прочность эффузивных пород с величиной отскока бойка молотка Шмидта [10 – 18] приведено в табл. 2.4. Там же показаны зависимости, выведенные для определения дробимости пород V_{max} через величину отскока H_r , полученные автором по данным анализа исследований разных лет.

Таблица 2.4 – Эмпирические зависимости предела прочности в образце и дробимости от величины отскока молотка Шмидта

Источники зависимостей $\sigma_{сж}$ от H_r (год)	Тип пород	Предел прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Дробимость, V_{max} (Русских)
Хи и др. (1990) [7]	Празиниты	$\sigma_{сж} = 2.99 \cdot e^{(0.06 \cdot H_r)}$	$V_{max} = \frac{435}{2.99e^{0.06H_r} + 9}$
	Серпентиниты	$\sigma_{сж} = 2.98 \cdot e^{(0.063 \cdot H_r)}$	$V_{max} = \frac{435}{2.98e^{0.063H_r} + 9}$
	Габбро	$\sigma_{сж} = 3.78 \cdot e^{(0.05 \cdot H_r)}$	$V_{max} = \frac{435}{3.78e^{0.05H_r} + 9}$
Каганан и др. (2015) [12]	Магматические породы	$\sigma_{сж} = 0.097 \cdot H_r^{1.88}$	$V_{max} = \frac{435}{0.097H_r^{1.88} + 9}$
ИГД УрО РАН, Харисов Т.Ф. и др. (2020) [18]	Серпентиниты	$\sigma_{сж} = 0.0017 \cdot e^{0.14 \cdot H_r} + 0.3 \cdot H_r - 0.0017$	$V_{max} = \frac{435}{0,0017e^{0.14H_r} + 0.3H_r + 9}$

При установленных показателях дробимости возможно определение удельного расхода ВВ. Исходя из анализа опыта взрывных работ на карьерах в разных горно-геологических условиях, установлено, что удельный расход ВВ q , обеспечивающий заданное качество дробления коррелирует (коэффициент вариации - 11,8%) с достаточной надежностью с показателем дробимости, выражаемым эмпирической формулой (2.7) [25]:

$$q = 0,678 \exp(-0.065 V_{max}) \quad (2.7)$$

В то же время, удельный расход взрывчатых веществ можно выразить формулой (3.8):

$$q = M/V, \quad (2.8)$$

При: M – масса заряда ВВ в скважине, кг,

$$M = (\pi d^2 / 4) l_{зар} \rho_{ВВ}, \quad (2.9)$$

V – объем горной массы, разрушаемый скважинным зарядом, м³:

$$V = m W_0^2 L_{эф}, \quad (2.10)$$

где d – диаметр заряда взрывчатого вещества, м;

$l_{зар}$ – длина заряда взрывчатого вещества, м;

$\rho_{ВВ}$ – плотность взрывчатого вещества, кг/м³;

$L_{эф}$ – эффективная длина скважины; при открытой разработке $L_{эф}$ соответствует высоте уступа, м;

W_0 – размер линии наименьшего сопротивления (ЛНС), м;

где m – коэффициент сближения зарядов.

Тогда, размер ЛНС в зависимости от величины отскока бойка молотка Шмидта определится из соотношения:

$$W_0 = \sqrt{\frac{M}{0.678 \exp\left(-\frac{28.275}{0.0017 e^{0.14 H_r} + 0.3 H_r + 9}\right) m L_{эф}}} \quad (2.11)$$

Апробация предложенного способа расчета основных параметров БВР по степени дробления произведена на примере серпентинитовых пород Джетыгаринского месторождения. Для этого на локальных участках

обнаженного массива, в полевых условиях производились измерения молотком Шмидта и дополнительно проводились испытания образцов горных пород на предел прочности при сжатии в лабораторных условиях с применением специализированного прессового оборудования (табл.2.5).

На основании экспериментальных данных таблицы 2.5 и выражений, предложенных различными авторами и приведенных в таблице 2.4, построены графики, характеризующие расчетную взаимосвязь дробимости пород и размеров ЛНС от величины отскока бойка молотка Шмидта (рисунки 2.14, 2.15).

Таблица 2.5 – Результаты определения пределов прочности на сжатие и величины отскока молотка Шмидта в серпентинитах Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста

Параметры	Тип пород											Среднее значение	Коэффициент вариации, %
Серпентинит апопередотитовый													
Hr	67,0	62,0	70,0	71,5	68,0	66,5	59,0	67,0	69,0	64,5	66,45	5,65	
σсж	27,8	53,0	48,4	33,2	38,2	40,9	39,6	30,8	33,0	40,9	38,58	20,32	
Серпентинит апподунитовый хризотил лизардитовый													
Hr	68,0	56,5	70,5	58,0	63,0	62,0	66,5	59,0	55,5	61,5	62,05	8,1	
σсж	20,2	30,7	29,5	22,0	29,9	22,8	24,5	29,1	27,6	28,7	26,50	14,27	
Серпентинит апоперидотит лизардитовый													
Hr	67,0	69,5	70,5	64,0	67,5	72,0	66,0	65,5	69,0	66,5	67,75	3,64	
σсж	45,70	44,10	59,40	46,10	64,50	52,30	50,00	54,80	61,90	47,80	52,66	13,74	
Серпентинит аподунитовый лизардитовый													
Hr	49,0	52,5	53,0	62,5	51,0	39,0	42,0	42,0	58,5	55,0	50,45	15,03	
σсж	20,6	5,9	24,0	21,0	21,7	15,9	20,9	22,7	18,1	20,0	19,08	27,01	
Серпентинит лизардитовый асбестононость													
Hr	50,0	53,0	62,5	56,0	63,0	61,5	56,0	54,0	58,5	59,0	57,35	7,52	
σсж	18,5	24,4	14,7	29,9	23,6	24,0	27,1	18,9	24,5	26,2	23,18	19,6	
Серпентинит лизардитовый													
Hr	56,00	63,00	63,50	71,50	65,00	70,50	65,00	61,00	73,50	73,50	66,25	8,78	
σсж	52,30	45,80	48,70	74,60	52,80	48,00	55,60	45,90	39,10	39,30	50,21	20,17	
Серпентинит лизардитовый оталькованный													
Hr	64,0	67,5	75,5	60,5	63,5	68,0	70,0	59,0	62,5	60,5	65,10	7,87	
σсж	24,4	33,2	32,4	39,1	36,0	33,8	32,1	32,6	29,9	30,6	32,41	11,91	
Серпентинит апоперидотитовый хризотил лизардитовый													
Hr	76,5	73,0	81,5	77,0	76,5	81,0	81,0	81,5	73,5	65,5	76,70	6,63	
σсж	137,2	106,0	95,5	145,2	166,2	68,2	125,8	129,8	120,1	110,1	120,41	22,78	

Сравнительный анализ построенных зависимостей (рисунок 2.14, 2.15) позволяет отметить следующее.

Общий тренд изменения дробимости и величины ЛНС от H_r сохраняется для различных литотипов: габбро, празиниты, магматические породы и серпентиниты. С увеличением отскока бойка молотка Шмидта логарифмически и нелинейно уменьшаются значения $V_{\max}$ и W_0 . Вместе с тем размах расчетных отклонений искомых параметров по разным методикам в диапазоне отскоков бойка молотка Шмидта (до 30 – 60) достаточно велик. Поэтому при косвенной оценке дробимости, можно рекомендовать повышенный контроль точности при низких значениях отскока бойка. При отскоках 60 и выше, ошибки натурных измерений незначительно повлияют на результат определения дробимости и линии наименьшего сопротивления.

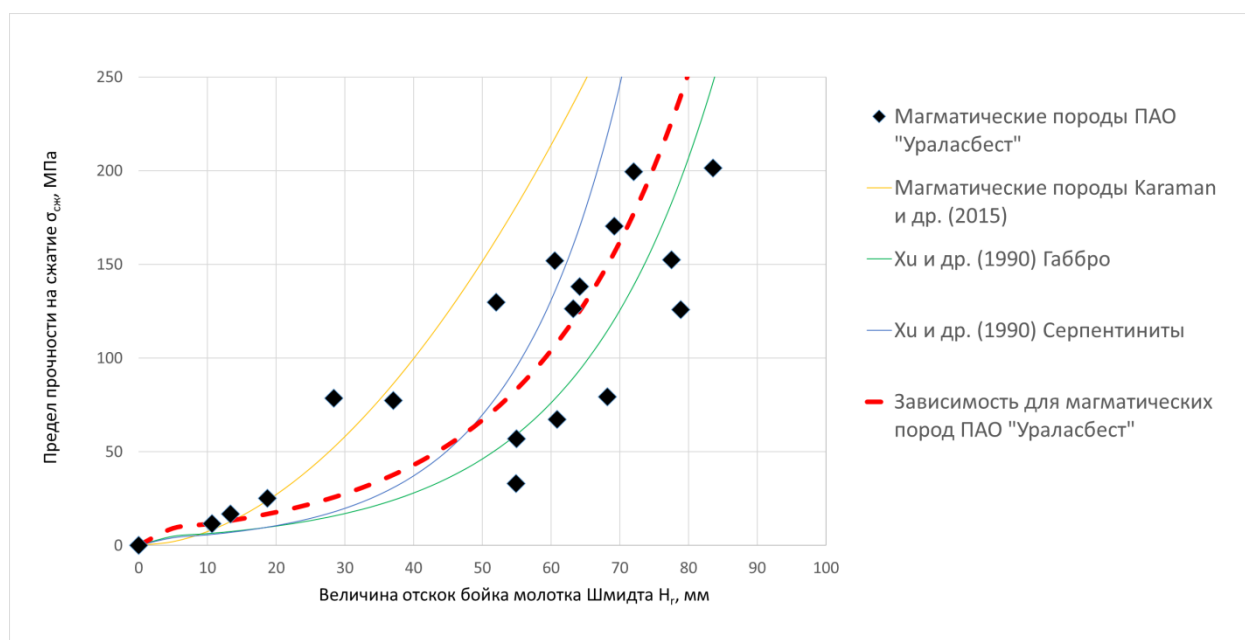


Рисунок 2.14 – Расчетное значение дробимости пород в зависимости от величины отскока бойка молотка Шмидта

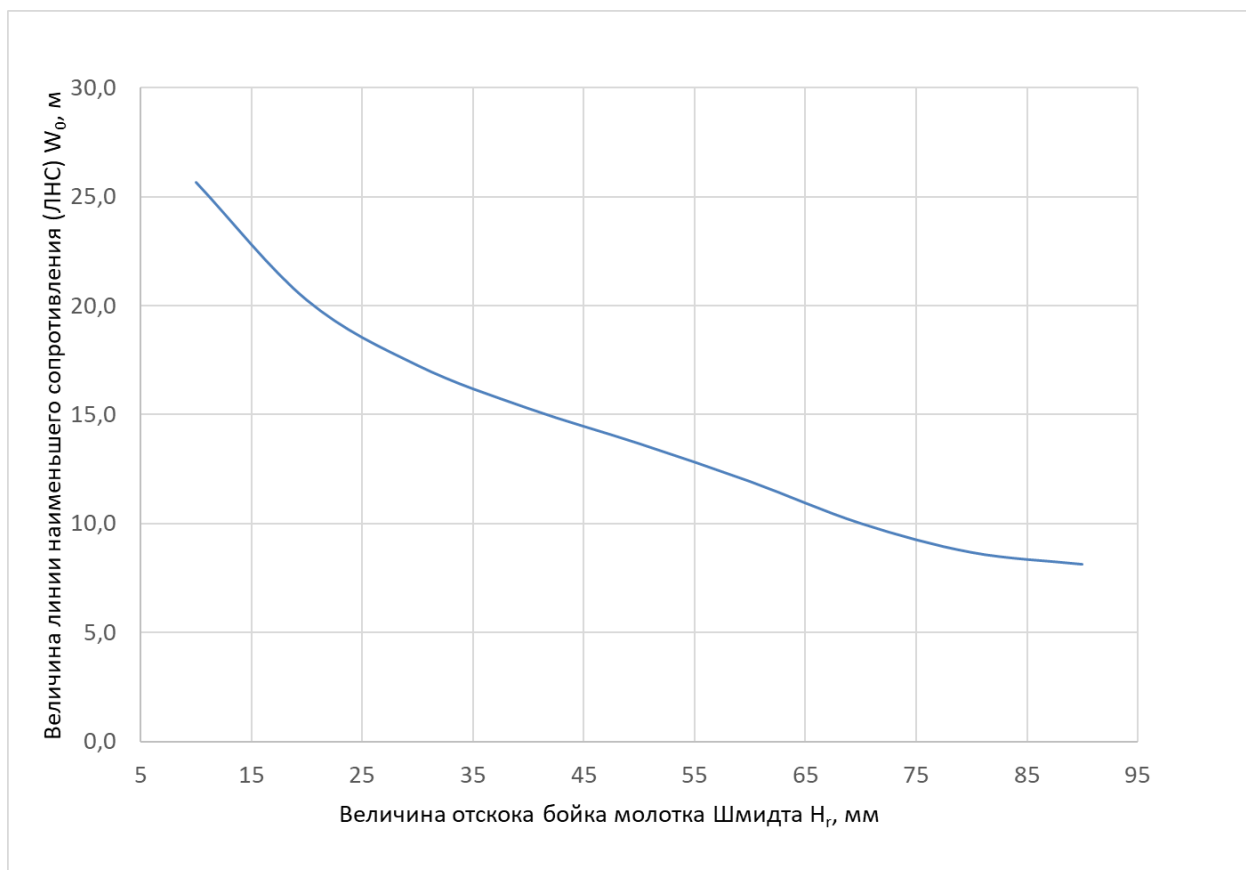


Рисунок 2.15 – Расчетная величина линии наименьшего сопротивления в зависимости от величины отскока бойка молотка Шмидта

Из графиков также видно, что как величина дробимости породы, так и размеры линии наименьшего сопротивления варьируется в достаточно широком диапазоне при использовании в расчетах формул, полученных другими исследователями (таблица 2), даже для одного и того же литотипа (серпентиниты). Очевидно, эти расхождения определяется как различием физико-механическими свойств отдельных литотипов на разных месторождениях, так и различием характеристик применяемых молотков Шмидта, которые могут быть двух типов: L и N. Поэтому, необходимо тарировать в лабораторных условиях конкретные модели молотка Шмидта на породах на литотипах того месторождения, на которых их планируется использовать.

На основании результатов исследований, можно сделать вывод, что экспресс-метод оценки показателей буровзрывного комплекса с применением молотка Шмидта, в том числе дробимости и величины линии наименьшего сопротивления, является эффективным.

Однако следует учитывать, что нельзя использовать молотки Шмидта в конкретных горно-геологических условиях без лабораторной тарировки всех, планируемых к использованию, приборов. Также следует обращать внимание на точность полевых измерений, при малых значениях отскока бойка молотков Шмидта, что легко достигается стандартными методами: увеличением количества измерений и их статистической обработкой.

2.5 Выводы по главе

1. Выявлены структурные изменения в составе взорванной и отгружаемой горной массы, связанные с динамикой разработки месторождения: объем выемки горной массы имеет тенденцию к сокращению ввиду снижения количества потребителей хризотил-асбеста, одновременно увеличивается доля трудновзрываемых пород таких как диорит, перидотит, габбро как по крепости проф. Протоdjяконова, так и по категориям взрываемости (крупноблочные породы, перидотиты) с 47 до 56 %. В процессе разработки месторождения объёмы выемки трудновзрываемых пород V категории взрываемости всегда держатся на высоком уровне и превалируют над остальными категориями пород.
2. Установлено, что с ростом глубины разработки месторождения с 200 до 350 метров удельный расход взрывчатых веществ увеличился в 2,23 раза. За рассматриваемый период объёмов взрывных работ снизились с 20 000 т.м3 до 10 000 т.м3 горной массы в твёрдом теле при сокращении объемов использования ЭВВ с 13 125 тыс. тонн до 9 109 тыс. тонн (30%). На рост удельного расхода в конечном итоге

оказывает влияние не само понижение горных работ, а изменение геологических условий.

3. В целом удельный расход ВВ увеличивался, однако его динамика в значительной мере зависела от результатов работ и экспериментов, связанных с варьированием и адаптацией параметров БВР: размеров сетки взрывных скважин, выхода горной массы с 1 п.м. скважины, конструкции скважинных зарядов и т.п. В изученный период удельный расход взрывчатых материалов растёт до 2015 года, достигая максимума 1,02 кг/м³. Далее наблюдается его снижение до 0,960 в 2016 г., а в 2020 г. он составил 0,92 кг/м³;
4. Установленные количественные соотношения различных видов пород и руд различной крепости и категории их взрываемости по классификации пород Баженовского месторождения свидетельствуют о том, что в процессе развития горных работ во времени и пространстве на ближайшую перспективу необходимо решение задач совершенствования буровзрывного комплекса;
5. Определены характеристики физико-механических свойств рудоносных и скальных пород, пригодных для производства щебня и строительных материалов, производство которого во многом определяет эффективность и параметры горных и буровзрывных работ на карьерах комбината [36].
6. С 2010 г. незначительный рост текущих расходов и даже их снижение отмечается в процессе изготовления и расходования ЭВВ. Доля эмульсионных ВВ в общей себестоимости начинает падать после 2015 года по причине снижения общего веса заряда в скважине, которое обусловлено рассредоточением заряда и, соответственно – снижением удельного расхода ВВ. Отмечается устойчивый рост доли затрат на средства инициирования вплоть до 2016 г., а в период 2017-2020 гг. доля себестоимости по средствам инициирования стабилизирована и

практически не изменяется, хотя и выросла по причине увеличения расходов на дополнительную установку промежуточных детонаторов в рассредоточенных зарядах.

7. Компенсация увеличения текущих расходов на БВР и их относительная стабилизация достигнута за счет комплекса инженерно-технических мероприятий, включающих: организацию восстановления изношенных запчастей собственной ремонтной службой; повышение степени использования бурового и зарядного оборудования во времени; расширение объема предоставляемых услуг по ведению взрывных работ с использованием ЭВВ сторонним организациям; внедрение результатов исследовательских работ, связанных с сокращением удельного расхода ВВ за счет применения технологии рассредоточения зарядов по длине скважины.
8. Обосновано, что при применении малочувствительных эмульсионных взрывчатых веществ, основное внимание при проектировании и подготовке технологических взрывов должно уделяться вопросам инициирования, подбора промежуточного детонатора по составу и конструкции, выбора диаметра и конструкции скважинного заряда, а также контролю физических параметров изготовленного ВВ что в конечном итоге обеспечивает в совокупности полную и качественную детонацию заряда и как следствие качественное дробление горной массы.
9. Показано, что более равномерное и качественное распределение энергии происходит волной цилиндрических напряжений, но конструкция заряда для получения цилиндрической волны сложна в технологическом и экономическом плане. В этом случае приходится устанавливать по всей длине заряда эмульсионного ВВ несколько дорогостоящих промежуточных детонаторов с расположением их точно по центральной оси скважины, что ведет к дополнительным

затратам на применение специальных центрирующих приспособлений. При постановке одного промежуточного детонатора и его инициировании получаем сферическую волну напряжений, при этом следует применять промежуточный детонатор с более высокой скоростью детонации.

10. Анализ современных технических средств и аппаратуры показывает, что создать информационную базу для разработки и использования новых технологий воздействия на горный массив позволяет применение геофизических методов исследования, основанных на изучении распространения упругих волн, возбуждённых искусственно с помощью тех или иных источников: ударов, взрывов и т.п.
11. Изучены особенности взрывных работ при использовании эмульсионных взрывчатых веществ, которые свидетельствуют о том, что их эффективность обеспечивается учетом комплекса взаимосвязанных факторов, характеризующих: геометрические параметры уступа; плотность и прочность пород; обводненность, трещиноватость пород и скорость распространения в них энергии взрыва; объём взрываемого блока; расположение и конструкция зарядов; размещение в заряде точки инициирования; линейные размеры промежуточного детонатора, а также детонационные характеристики промежуточного детонатора и заряда в целом;
12. На основании экспериментальных данных (ИГД УрО РАН) и количественных зависимостей, предложенных различными авторами, выведены зависимости, характеризующие расчетную взаимосвязь дробимости пород и размеров ЛНС от величины отскока бойка молотка Шмидта. С увеличением отскока бойка молотка Шмидта логарифмически и нелинейно уменьшаются значения $V_{\max}$ и W_0 показано, что общий тренд изменения дробимости и величины ЛНС от H_r сохраняется для различных литотипов: габбро, празиниты,

магматические породы и серпентиниты, что свидетельствует об эффективности предложенного экспресс-метода для оценки указанных параметров.

На основании изложенного сформулировано первое научное положение: общий тренд изменения предела прочности пород на сжатие от величины отскока бойка молотка Шмидта сохраняется для различных литотипов: габбро, празиниты, магматические породы и серпентиниты и позволяет получить зависимости, характеризующие расчетную взаимосвязь размеров ЛНС.

3 УПРАВЛЕНИЕ ВЗРЫВНЫМ РАЗРУШЕНИЕМ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ АСБЕСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

3.1 Анализ организационно-технических факторов, влияющих на качество взрывной подготовки массива

Организационно-технические меры, влияющие на качество взорванной горной массы, являются самым дешевым и эффективным способом увеличения качества подготовки горной массы. Для управления качеством взрывания необходимо повышенное внимание к точности бурения скважин, использования партий ЭВВ с максимально приближенными друг к другу плотностями. Рассмотрим ныне существующее состояние качества бурения и плотностей ЭВВ на некоторых примерах, взятых случайным способом на отдельных блоках. Для доказательства был взят обычный блок для взрывания. При подготовке к эксперименту изначально было принято решение контроль качества бурения и заряжания блока осуществлять, не вводя в курс дела персонал. Качество подготовки блока контролировалось специально назначенным специалистом.

Сравнительные параметры качества подготовки и проведения опытно-промышленного взрыва на участке Южный, Восточный борт, горизонт 47 м, Блок № 00-2, экскаватор № 334 приведены в таблице 3.4 и на рисунках 3.3 и 3.4. Из данных таблицы 3.4 видно, что размах варьирования длины: колонки заряда после заряжания скважин $R_{зар\ 1}$ составляет $R_{зар\ 1} = 16 - 11 = 5$ м; заряда перед взрыванием массива $R_{зар\ 2}$ составляет $R_{зар\ 2} = 16,5 - 11,5 = 5$ м; забойки после заряжания скважин $R_{заб\ 1}$ равен $R_{заб\ 1} = 5 - 3 = 2$ м; - забойки перед взрыванием массива $R_{заб\ 2}$ составляет $R_{заб\ 2} = 4,5 - 3 = 1,5$ м.

На рисунке 3.1 показано распределение варьирования глубины скважин на блоке Южного участка карьера ПАО «Ураласбест». Как видно, качество бурения имеет разброс по глубине до 4 м. Отчасти это связано со сложными

горно-геологическими условиями, но в основном – с низкой исполнительской дисциплиной персонала, что и подтвердил замер по случайно выбранному блоку, показывающий текущее состояние дел по качеству бурения.

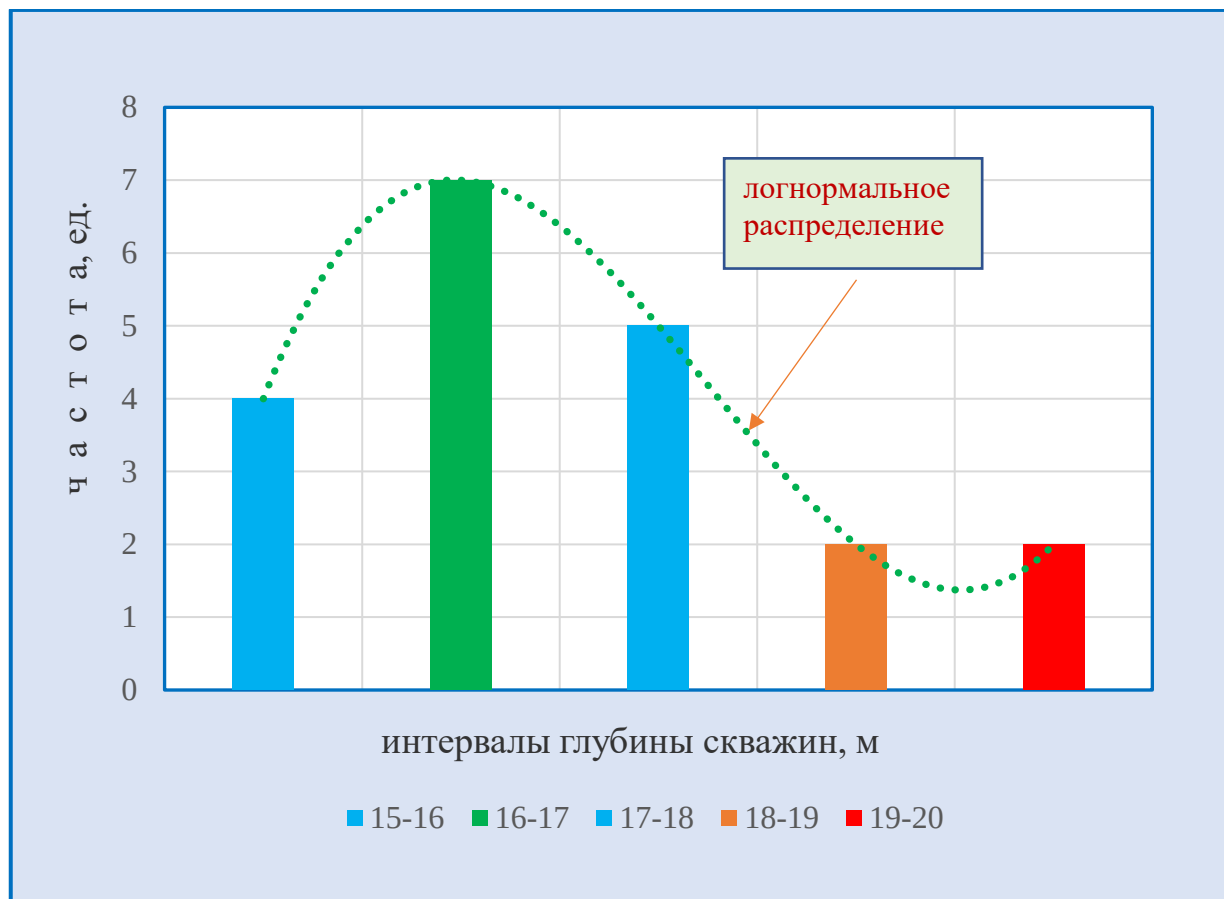


Рисунок 3.1 – Варьирование глубины скважин на экспериментальном блоке Южного участка карьера ПАО «Ураласбест».

На рисунке 3.2 приведены сведения об изменении высоты колонки заряда, зависящей от исходной плотности заряжания скважин эмульсионными ВВ.

Таблица 3.1 – Параметры опытно-промышленного взрыва на участке Южный карьера ПАО «Ураласбест»

Высота уступа, H_y , м	Количество скважин, n , ед.	Коэффициент заполнения скважин ВВ, h_z	Диаметр скважин, $d_{скв}$, мм	Проектные данные			Экспериментальные замеры			
				Глубина скважин, $L_{скв}$, м	Длина перебура скважин, $h_{пер}$, м	Высота сква- жинного заряда, $h_{заряда}$ м	Глубина скважин, $L_{скв}$, м	Длина перебура скважин, $h_{пер}$, м	Высота колонки заряда после заряжения скважины, $h_{заряда 1}$, м	Высота колонки заряда перед взрыванием массива, $h_{заряда 2}$, м
15	21	0,706	215,9	17	2	12	20	3	16	16
				17	2	12	20	3	16	16
				17	2	12	19	2	15,5	16
				17	2	12	18	1	14,5	15
				17	2	12	18	1	14	15
				17	2	12	18	1	14	13,5
				17	2	12	17	0	14	14
				17	2	12	17	0	13	14
				17	2	12	17	0	13	14
				17	2	12	17	0	13	13

Продолжение таблицы 3.1

15	21	0,706	215,9	17	2	12	16	-1	11	11,5
				17	2	12	16	-1	12	12
				17	2	12	17	0	13	14
				17	2	12	16	-1	11,5	12
				17	2	12	17	0	12,5	13
				17	2	12	18	1	13	14
				17	2	12	17	0	13	13
				17	2	12	19	2	14	14,5
				17	2	12	17	0	12,5	13
				17	2	12	16	-1	12	13
				17	2	12	18	1	14	14,5
Средние значения параметров				17	2	12	17,5	+11	13,4	13,9

Примечание: Заряд 1 и заряд 2 – промер каждой высоты колонки заряда осуществлялся дважды.

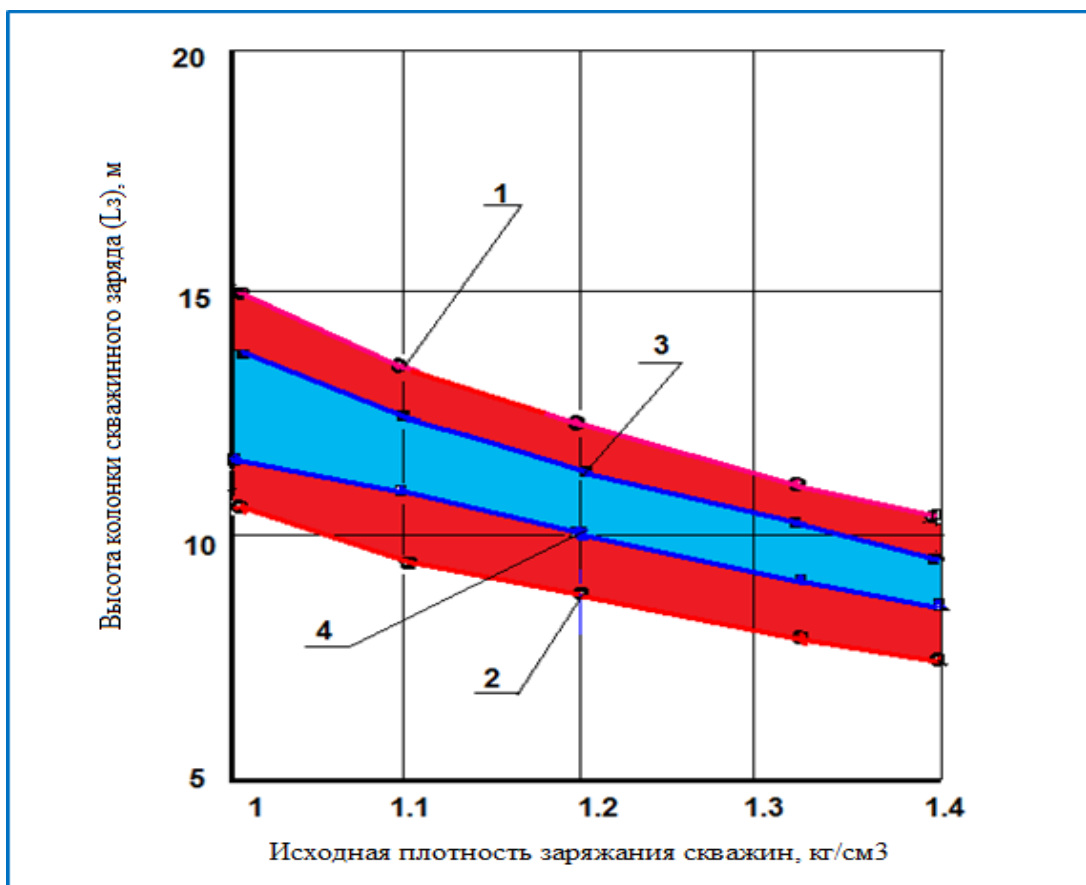


Рисунок 3.2 – Изменение высоты колонки скважинного заряда в зависимости от исходной плотности ЭВВ

- 1 – верхняя граница области при диаметре скважин ($d_{\text{скв}}$) 244,5 мм и величине скважинного заряда 700 кг;
- 2 – нижняя граница области при диаметре скважин 244,5 мм и величине скважинного заряда 500 кг;
- 3 – верхняя граница области при диаметре скважин ($d_{\text{скв}}$) 215,9 мм и величине скважинного заряда 500 кг;
- 4 – нижняя граница области при диаметре скважин 215,9 мм и величине скважинного заряда 400 кг.

Данные рисунка свидетельствуют о том, что колонка заряда в скважинах меньшего диаметра даёт больший прирост по высоте при нормальной газификации эмульсии - 1,0-1,2 кг/м³. Соответственно при зарядании блоков обуренными скважинами меньшего диаметра и заряжаемыми разными смесительно-зарядными машинами (СЗМ), возможны большие отклонения по высоте колонки заряда что негативно может

сказаться на дроблении верхней части блока и его прогнозе по развалу взорванной горной массы.

Кроме того, при работе СЗМ разных марок и загрузки их разными партиями ЭВВ требуется проведение постоянного экспресс-анализа изготовления ЭВВ как по партиям, так и внутри партии ЭВВ (минимум три раза в течение разгрузки одной партии).

Таким образом по результатам контрольных замеров, можно сделать следующие выводы:

Увеличение размаха высоты колонки заряда тем больше, чем меньше диаметр заряжаемой скважины. Поэтому чем меньше диаметр заряжаемой скважины, тем больше внимания и точности требуется от взрывперсонала при зарядании и взрывании данных зарядов. Особенно это касается используемого зарядного оборудования.

При зарядании скважин малого диаметра рекомендуется проведение зарядания без отклонения от установленной плотности в пределах границ допустимого (например $1,2 \text{ кг/см}^3$). Для этого следует или применять экспресс-анализ через каждую разгруженную тонну ЭВВ или заряжать блок одной смесительно-зарядной машиной.

Качество изготавливаемого ЭВВ оценивалось скоростью детонации скважинных зарядов, которая определялась «непрерывным способом» с применением комплекта измерительной аппаратуры «VOD Mate» («Instantel», Канада). Зависимость средней измеренной скорости детонации заряда порэмита 1А от исходной плотности зарядания скважин приведена на рисунке 3.3.

По материалам эксперимента получена достоверная информация о качестве подготовки блока к взрыву: по параметрам пробуренных скважин и качеству их зарядания, в т.ч. о плотности зарядания скважин порэмитом 1А, изготовленным применяемых СЗМ.

1. Определена зависимость средней скорости детонации заряда порэмита 1А от исходной плотности заряжения скважин на экспериментальном блоке. Показано, что скорость детонации напрямую зависит от плотности ЭВВ в скважине, то задача взрывперсонала – максимально выровнять колебания плотности ЭВВ при зарядании блока, поскольку разброс скорости детонации любой скважины в блоке должен минимальным по отношению к скорости детонации других скважин на взрываемом блоке;

2. Определена величина высоты колонки заряда в зависимости от плотности ЭВВ;

3. Обоснована необходимость определять исходную плотность заряжения скважин порэмитом 1А экспресс-методом непосредственно в условиях карьера в связи с неодинаковым характером смещения ЭВВ разными типами смесительно- зарядного оборудования, а также разных партий ЭВВ.

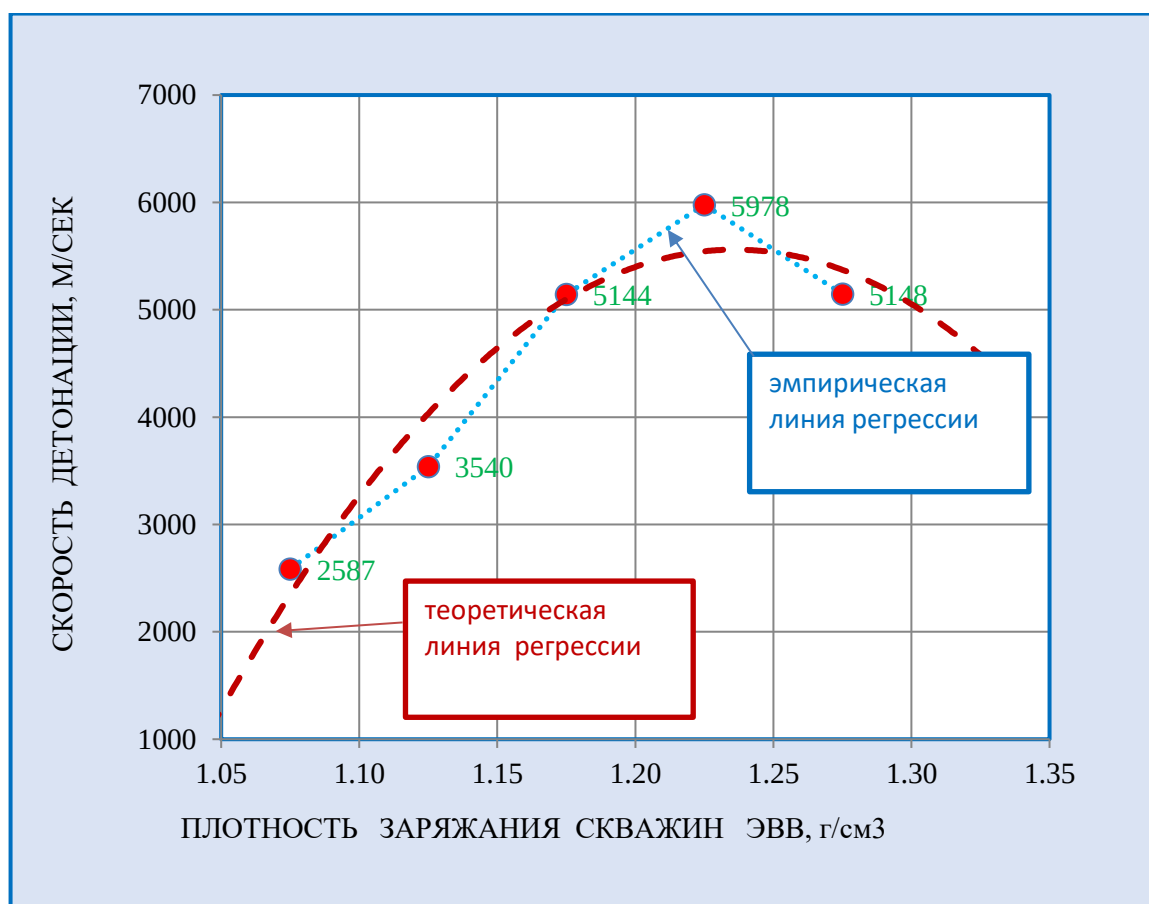


Рисунок 3.3 – Изменение измеренной скорости детонации в зависимости от плотности заряжания скважин порэмитом 1А

4. Выявлено низкое качество подготовки блока к взрыванию - глубина перебуренных или недобуренных скважин не доведена до проектной;

Все вышеперечисленное, а именно – разные партии изготовленных ЭВВ, разная плотность заряжания (в пределах допуска ТУ), разные марки смесительно-зарядного оборудования, разница в глубине скважин – дают непрогнозируемое качество взрыва, а именно ширину развала, разную проработку подошвы уступа и неравномерность гранулометрического состава верхней части взрываемого блока.

Вышеперечисленные отклонения являются недостатком организации производства буровзрывных работ и должны являться первоочередными в мероприятиях по повышению их качества. Тем более, что ни один из вышеуказанных недостатков не требует дополнительных финансовых вложений, но является критически важным в повышении качества буровзрывных работ.

3.2. Исследование и апробация технологии разрушения обводнённых массивов рассредоточенными скважинными зарядами ЭВВ с использованием специальных затворов и заглушек

Обеспечение качественного дробления горных пород без существенного увеличения затрат при добыче минерального сырья возможно за счет совершенствования рецептур взрывчатых веществ и технологии взрывного разрушения массивов.

Максимальное использование энергии взрыва на дробление пород на открытых горных разработках достигается при условии оптимального соответствия структуры и прочностных свойств среды, подготовленной к разрушению, с параметрами источника внешнего нагружения [1, 2, 3].

Регулирование энергии возможно за счёт изменения удельного расхода ВВ, расположения и параметров активных и пассивных зон в конструкции скважинных зарядов и условий их взаимодействия при групповом взрывании. Свойства пород и структура локальных массивов варьируют в сравнительно не больших пределах, поэтому повышение эффективности разрушения их взрывным способом осуществляется, в основном, за счёт изменения параметров внешнего разрушающего импульса. В частности, это достигается регулированием взрывного импульса или изменением условий взрывания в зависимости от требуемого качества дробления конкретной среды.

Важным направлением повышения эффективности взрывных работ на горных предприятиях является внедрение прогрессивных технологий разрушения горных пород, основанных на применении ВВ, приготовленных на основе обратных эмульсий. Они являются наиболее универсальными и позволяют менять взрывчатые характеристики в достаточно широких пределах путем изменения компонентного состава и степени аэрации взрывчатой смеси. Ввиду того, что на большинстве крупных горнодобывающих предприятий России используются малочувствительные водосодержащие взрывчатые смеси, основное внимание при проектировании и подготовке технологических взрывов уделяется конструкции и системам инициирования скважинных зарядов, контролю замкнутости продуктов детонации и выбору диаметра скважинных зарядов, обеспечивающих полное завершение реакций взрывчатого превращения. Наиболее полная передача энергии взрыва окружающей среде может быть достигнута путём перераспределения её в разделённых зарядах по высоте колонки. Это делается за счёт применения воздушных промежутков, то есть выбора конструкции зарядов, формируемых с рациональными параметрами пассивных и активных зон. Размеры их предопределяются прочностью горных пород и структурой массивов.

В ПАО «Ураласбест» при производстве щебня из скальных пород (перидотитов) возникла проблема значительного переизмельчения и в этой связи потребовалось изыскание способов, позволяющих увеличить долю кондиционных и снизить долю мелких фракций (0-100 мм). Для решения этой задачи были апробированы методы управления действием взрыва, основанные на перераспределении энергии скважинного заряда, ранее разработанные в ИГД им. А.А.Скочинского применительно к необводнённым массивам [90]. Решение проблемы переизмельчения взорванной горной массы осуществлялось последовательно тремя способами:

1. Бурением скважин шарошечными станками с малым диаметром долот.

2. Применением в обводнённых массивах рассредоточенных скважинных зарядов с варьируемой величиной активных и пассивных зон. Способ основан на установке в скважине пневматических затворов, позволяющих разделять заряд на любой, определённой расчётом глубине (рисунок 3.4, 3.5).

3. Применением в скважинах зарядов на воздушной подушке, а в слабообводнённых массивах – на водяной подушке, полученной в результате использования специальных заглушек, частично (на 50-75%) перекрывающих технологический перебур скважин, предусмотренный «Типовым проектом производства буровзрывных работ на карьерах ПАО «Ураласбест». Способ основывается на проработке подошвы уступа через незаряженную часть перебура (до 1,5 м) за счет удовлетворительной работоспособности применяемых эмульсионных ВВ., защищен патентом [1].

Дополнительный эффект применения зарядов на воздушной или водяной подушке, заключается в сохранении верхней части нижележащего уступа, что сказывается на качестве забуривания первых метров скважины особенно буровыми станками с пневмоударным инструментом.

Рассредоточение заряда является известным способом, но при этом, как правило, промежуток между нижним и верхним зарядом заполнялся песком, мелким гравием или бумажными пробками. Недостатком такого способа является рост числа отказавших зарядов по причине попадания в забоечный материал крупных фракций породы и передавливания ими детонирующего шнура или НСИ. Кроме того, верхняя часть заряда, контактирующая с забоечным материалом, перемешивается, особенно при использовании эмульсионных взрывчатых веществ, и теряет свои свойства.

Пневматический затвор не контактирует с нижним зарядом и не нарушает целостности средств инициирования. Для рассредоточения скважинных зарядов были использованы пневматические затворы марки LBP производства ЗАО «ТЭО», «ЭКО» г. Томск и ЗАО «Томский приборный завод». Пневматический затвор представляет собой многослойную полиэтиленовую камеру, покрытую двойным полипропиленовым чехлом для предотвращения от возможных повреждений, обусловленных неровностью стенок скважин. Корпус ниппеля выполнен для соединения с воздушным шлангом от компрессора СЗМ посредством быстросъёмного шарикового разъёма. К основным достоинствам данного пневматического затвора следует отнести: достаточно высокую (до 200 кг) несущую способность, широкий диапазон параметров скважин (диаметр от 170 до 250 мм), возможность установки под столб воды. На рис. 3.6, 3.7 показаны конструкция и процесс установки пневматического затвора в скважину.

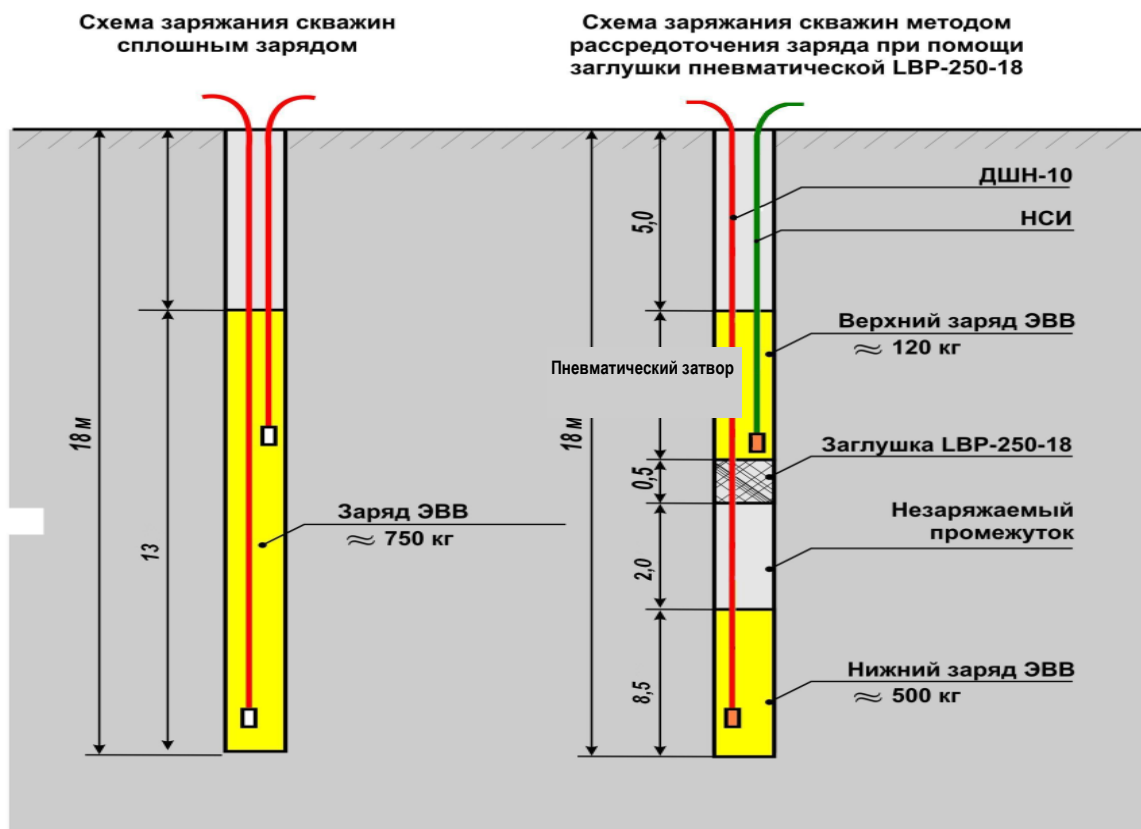


Рисунок 3.4 – Способ установки пневматических затворов

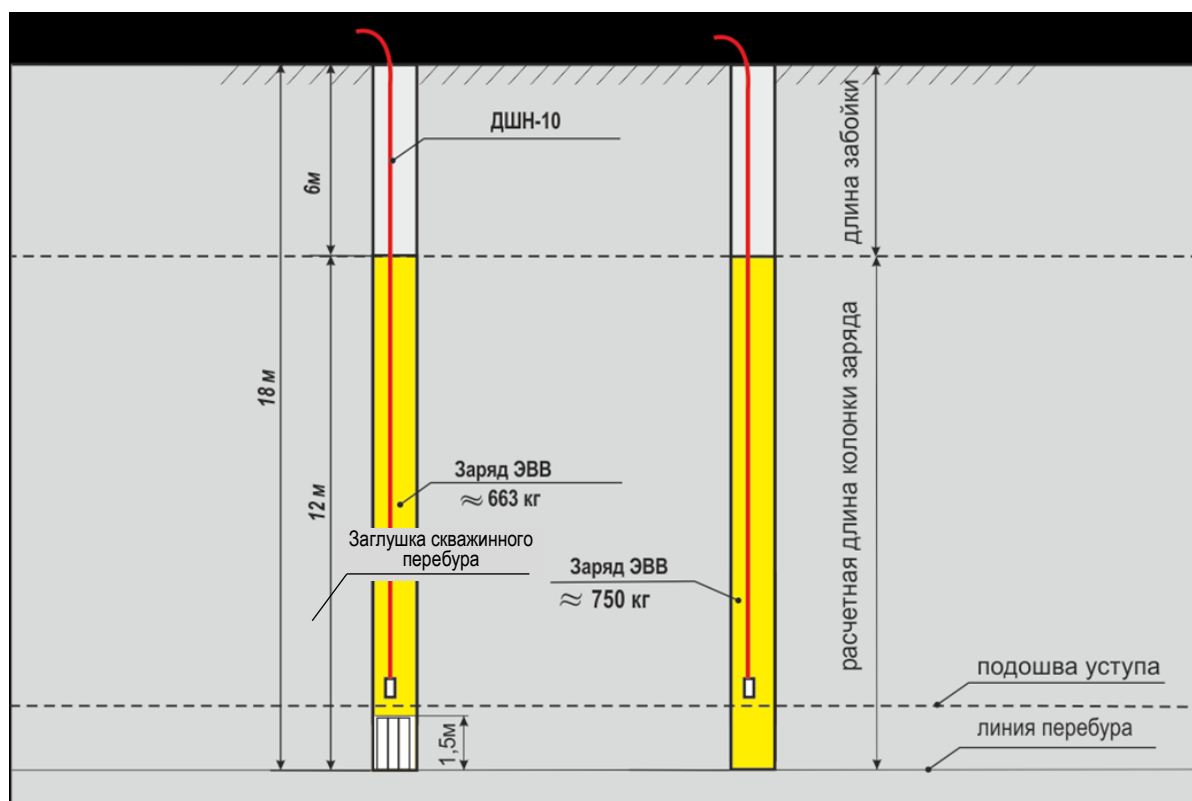


Рисунок 3.5 – Способ установки заглушек в скважинных перебурах



Рисунок 3.6 – Устройство (заглушка) скважинного перебура



Рисунок 3.7 – Установка пневматического затвора в скважину перед формированием верхнего скважинного заряда

В таблице 3.2 представлены результаты опытно-промышленных взрывов проведенных в условиях карьеров ПАО «Ураласбест» для получения необходимого гранулометрического состава взорванной горной массы.

На рисунке 3.8 приведено распределение фракций после апробации вышеуказанных способов. Согласно данных технического отдела Рудоуправления, полученных в результате замеров гранулометрического состава взорванной горной массы в забоях экскаваторов следует, что выход мелких фракций (0-100 мм) в результате производства опытно-промышленных взрывов скважинных зарядов с диаметром 215,9 мм, в сравнении с базовым вариантом при диаметре 244,5 мм, снизился с 55,9% до 38,8%, то есть на 17,1%. При этом выход фракций 101-400 мм и 401-800 мм увеличился соответственно на 16,5% и 4,8%. Выход фракций 801-1200 мм и более 1200 мм снизился на 1,5% и 2,7%.

Фактический расход ЭВВ, при применении рассредоточенных зарядов (от 15 до 70% от общего числа взорванных скважин), в сравнении с расчётным в 1,15-1,4 раза меньше, чем при сплошных зарядах.

За период проведения опытно-промышленных взрывов экономия взрывчатых веществ составила 160 тонн (в денежном выражении 2,5 млн. руб.) при необходимой степени дробления пород.

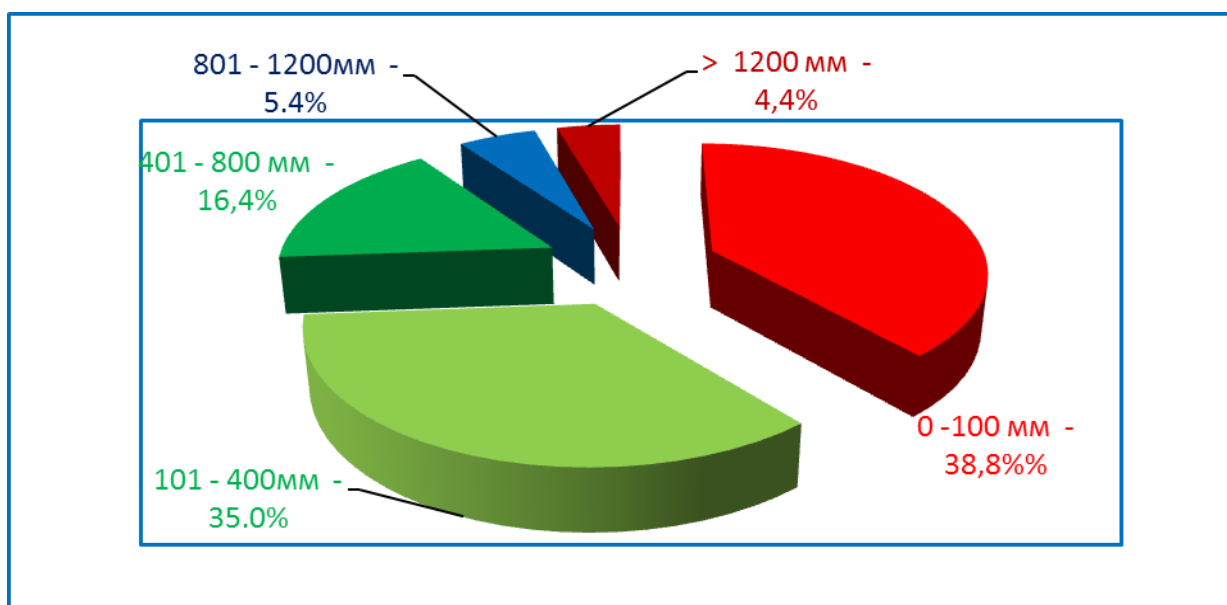


Рисунок 3.8 – Диаграмма распределения взорванной горной массы по фракциям (блоки №№ 139, 168, 197, 230, гор. 62, 47 м, сетка 6,0 × 5,5 м и 6,0 × 6,0 м, $d_{\text{скв}} = 215,9$ мм, экскаваторы №№ 264 и 283)

По результатам проведенных экспериментальных исследований даны рекомендации относительно:

- конструкции скважинных зарядов при взрывном разрушении локальных массивов, сложенных перидотитами особо трудновзрывающимися V категории крепостью 11-13 единиц по шкале М. М. Протодяконова;
- рациональных параметров сетки скважин, высоты колонки заряда, величине активных и пассивных зон, удельного расхода порэмита 1А.

Рекомендации апробированы в условиях карьеров ПАО «Ураласбест» при подготовке и проведении опытно-промышленных взрывов при диаметре скважин 215,9 мм и 230 мм, сетке $6,0 \times 5,5$ м, $6,0 \times 6,0$ м и $7,0 \times 6,0$ м и получены удовлетворительные результаты по фракционному выходу взорванной горной массы.

Таким образом, уменьшение диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применение рассредоточенных скважинных зарядов для разрушения локальных массивов, сложенных особо трудно взрывающимися перидотитами крепостью по шкале М.М. Протодяконова 11-13 единиц, позволило решить задачу увеличения доли кондиционных фракций во взорванной горной массе с 55,9% до 38%. Это сказывается на экономических показателях добычи и отгрузки пород, предназначенных для производства щебня – снижается процент отходов при производстве товарного щебня.

Таблица 3.2 – Показатели гранулометрического состава взорванной горной массы на карьерах ПАО «Ураласбест» (по данным замеров специалистов технического отдела)

Дата взрыва	Карьер	Борт	Горизонт, м, Вид породы	№ блока	Сетка и диаметр скважин, м × м / мм	Количество скважин / в т. ч. рассредоточенных, единиц	Объём блока, тыс.м ³	Гранулометрический состав взорванной горной массы, %					№ экскаватора
								0-100	101-400	401-800	801-1200	Более 1200	
(базовый взрыв)	Южный	Восточный	47 Перидотит K _{кр} = 11 ед	86	7,0 × 6,0 / 244,5	- / -	-	55,9	18,5	11,6	6,9	7,1	264
(опытный)	Южный	Восточный	47 Перидотит K _{кр} = 11 ед	139	6,0 × 5,5 / 215,9	153 / 80	93,0	39,7	33,2	17,6	4,7	4,8	264
(опытный)	Южный	Восточный	62 Перидотит K _{кр} = 11 ед	168	6,0 × 5,5 / 215,9	120 / 0	66,0	38,7	33,7	18,1	5,6	3,9	264
(опытный)	Южный	Восточный	47 Перидотит K _{кр} = 11 ед	197 230	6,0 × 6,0, 6,0 × 5,5 / 215,9	68 / 68 76 / 42	37,0 42,0	38,0	38,1	14,2	5,5	4,2	264
Средние показатели по опытным взрывам	Южный	Восточный	62 – 47 Перидотит K _{кр} = 11 ед	139 – 230	6,0 × 5,5 / 215,9	-	-	38,8 (-) 17,1%	35,0 (+) 16,5%	16,4 (+) 4,8%	5,4 (-) 1,5%	4,4 (-) 2,7%	264

3.3 Управление энергией взрывного разрушения зарядами ЭВВ с добавлением в эмульсию ингибиторов хризотилового волокна и NaCl

3.3.1 Основные методы регулирования чувствительности ЭВВ

Анализ способов взрывного разрушения локальных массивов на открытых горных работах позволяет выделить два основных направления управлением энергией взрыва:

1. Управление взрывом на основе регулирования технологических параметров (применение вертикальных и наклонных скважин, изменение сетки скважин, диаметра, расположения скважин, применения отбойки на обнаженную поверхность уступа или подпорную стенку, регулирование высоты уступов, оконтуривание локальных массивов скважинами малого диаметра, изменение числа рядов скважин и др.)

2. Управление взрывом на основе регулирования распределения энергии взрыва в пространстве и времени (выбор конструкции заряда, типа и конструкции забойки, обоснование типа взрывчатого вещества, удельного расхода ВВ, обоснование конструкции и средств инициирования заряда, использование различных интервалов времени замедления, применение различных схем монтажа зарядов, изменение направления отбойки и др.)

Однако, применительно к специфическим условиям разработки месторождений по добыче асбестовых руд не все перечисленные методы управления энергией взрыва могут быть эффективно использованы. В этой связи изыскание новых методов и способов управления энергией взрыва на горных предприятиях с целью оптимального дробления для повышения выхода товарного щебня из скальных пород является актуальной задачей, поскольку затраты на взрывную подготовку горной массы в общей статье затрат предприятия составляют 7,3% на тонну добытой горной массы. В этой связи поиски путей повышения эффективности применения ЭВВ и снижения себестоимости изготовления вблизи мест их применения весьма необходимы.

Опыт применения ЭВВ показал их неоспоримые преимущества перед другими классами промышленных ВВ, в том числе - возможность создания комбинированных и смесевых составов на основе матричной эмульсии, утилизация нефтепродуктов, использование разных растворов окислителей. Особый интерес вызывает введение в ЭВВ различных добавок, как для повышения, так и для снижения взрывчатых характеристик (например, для контурного взрывания и снижения переизмельчения горной массы при производстве щебней с целью увеличения выхода товарной продукции).

Известен большой ассортимент составов ЭВВ, различных по виду сенсibilизации. Как правило, сенсibilизация ЭВВ возможна двумя способами: первый – использование газифицирующих растворов, второй – использование твёрдых пористых материалов. Эти способы позволяют снизить плотность эмульсии с $1,3 \text{ г/см}^3$ (в данном случае рассматривается компонентный состав эмульсии порэмита производства ПАО «Ураласбест», технология ГосНИИ «Кристалл», г. Дзержинск) до $1,15\text{-}1,25 \text{ г/см}^3$ для перевода её в детонационное состояние. Изучена возможность применения хризотилового волокна, добываемого на карьерах ПАО «Ураласбест», для изменения взрывчатых характеристик ЭВВ.

Самый простой способ снижения плотности эмульсии – введение в неё газовых пузырьков. Для длительных сроков хранения в качестве сенсibilизатора применяют твёрдые пористые материалы (микросферы). Однако такого типа материалы имеют высокую стоимость и, кроме того, они, являясь балластом, снижают взрывчатые характеристики составов. Пористые или ячеистые структуры выбирают из различного сырья, но чаще всего применяются:

1. вещества неорганического типа: стекло, окись алюминия, глинистый сланец, шпироза, кварцевый песок, вулканическая зола, бура, перлит, боракс, вермикулит, микропористые гранулы окислителя.

2. органические или углеродосодержащие вещества: песок, уголь, измельчённая пробка, мука, микропористые гранулы горючего.

3. вещества полимерного типа: термореактивные смолы, термопластичные смолы, различные сополимерные смолы и каучуки.

В таблице 3.3 приведены характеристики микросфер на примере перлитового песка (как особо распространённого для сенсibilизации). С уменьшением сфер наблюдается увеличение процента их негерметичности и, как следствие, снижение эффекта сенсibilизации.

Таблица 3.3 – Характеристики микросфер на примере перлитового песка

Размер частиц, мкм	Содержание фракции, %	Герметичность, %
400-1250	40	60
200-400	25	40
125-200	20	30
Менее 125	15	20

Некоторые авторы прямо указывают, что «добавление в состав, сенсibilизированный способом химической газогенерации, дорогих микросфер нецелесообразно». Возможно создание эмульсионных составов с низкой скоростью детонации за счет введения пористых материалов перспективно для изготовления предохранительных веществ и составов для щадящего взрыва, например для добычи драгоценных камней.

Существуют минимальные и максимальные размеры микросфер, за пределами которых наблюдается явление десенсibilизации [97]. Кроме того, при введении их в состав ЭВВ, а также в период заряжания, частично происходит механическое разрушение микросфер.

Стоимость микросфер составляет около 5000-8000 долларов за тонну. Это одна из главных причин того, что использование микросфер не находит широкого применения при производстве на открытых горных работах. Вследствие этого интересен поиск других экономически выгодных материалов для сенсibilизации.

3.3.2 Использование волокон хризотила

Рассмотрена возможность использования волокон хризотила в качестве добавки в уже газифицированные химическим способом ЭВВ.

При обогащении хризотил-асбеста образуется нетоварный хризотил, который и представляет интерес в качестве экономичной сенсibiliзирующей добавки. Состав нетоварного хризотила: волокно 3 сита (до 5%), волокно длиной менее 1,35 мм (65%) и хризотил-породной пыли (20%). В плотном куске хризотил-асбест обладает зеленой или желтовато-зеленой окраской и перламутровым блеском, но после расщепления (фибризации) на отдельные волокна превращается в белую пухоподобную массу. Хризотил-асбест имеет весьма высокую температуру плавления (1521°C), при температуре около 700°C он теряет кристаллизационную воду и становится хрупким. Это самый термостойкий из всех асбестов. По сравнению с амфибол-асбестами, хризотил менее устойчив к воздействию кислот (разлагается в соляной кислоте); однако он щелочеустойчив, отличается высокими сорбционными, тепло-, звуко- и электроизоляционными свойствами [91]. Хризотил не является абразивным материалом и при смешивании с жидкостями образует довольно пластичную массу. Предполагается, что полученная масса будет легко перекачиваться винтовыми насосами смесительно-зарядных машин без их дополнительного износа или повреждения.

По данным электронно-микроскопического изучения, элементарные волокна (фибриллы) хризотила представляют собой весьма протяжённые трубки с отношением к диаметру более 100. Для них характерны идеально ровные внешние ограничения и наличие в центральной части осевого просвета, называемым внутренним каналом. Наружный диаметр фибрилл изменяется в пределах 15-65 нм, чаще всего составляя 30-40 нм. Преобладающий диаметр внутреннего канала 5-7 нм [92]. Различают типы

волокон по структуре: конус в конусе, цилиндр в цилиндре и трубка с полостью и заполненная аморфным веществом (смесь MgO и SiO_2).

Из вышеизложенных свойств хризотила наиболее важен его химический состав, устойчивость к механическим и химическим воздействиям, а самое главное – что его волокна фактически представляют собой нанотрубки различной длины в зависимости от сорта. Нанотрубки хризотила являются аналогами микросфер, но следует отметить их иную геометрию и размеры, отличающиеся почти на порядок от тех, которые применяются в настоящее время производителями ЭВВ. Отходы хризотила в 100-кратном увеличении показаны на рисунках 3.9 и 3.10:



Рисунок 3.9 – Отходы хризотил-асбеста

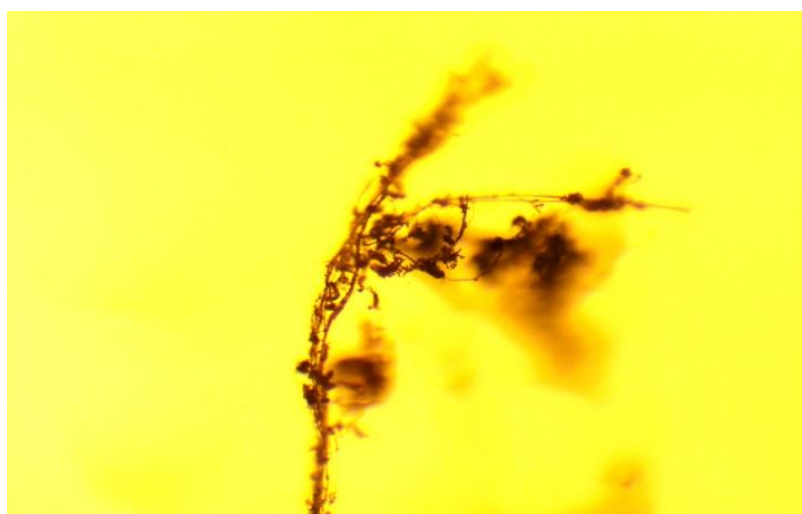


Рисунок 3.10 – Волокно хризотил-асбеста в 100-кратном увеличении

В используемой литературе не было найдено прямых указаний на такие малые размеры пористых материалов, применяемые в качестве добавок в ЭВВ. Поэтому идея эффективности использования нанотрубок хризотила для сенсibilизации ЭВВ требует подтверждения или опровержения.

При этом можно использовать две возможности сенсibilизации эмульсии микроматериалами. Один из вариантов заключается в том, что минимальный экстремум скорости детонации зависит от массовой доли микросфер и находится в области увеличенного до 50% по объему эмульсии содержания сенсibilизатора (8-10% массовой доли) и плотности эмульсионного ВВ в области 1,0 г/см³. Другой вариант характеризуется возрастанием экстремально максимального значения скорости детонации ЭВВ [93] при уменьшении размера частиц сенсibilизатора.

Исходя из вышеизложенных соображений и анализа данных литературы, можно предположить, что введение в состав ЭВВ волокон хризотила может дать следующие результаты:

1. Улучшение взрывчатых характеристик ЭВВ без увеличения или уменьшения его плотности за пределами ТУ ввиду высокой (по сравнению с микросферами) насыпной плотности хризотилового волокна.
2. Снижение взрывчатых характеристик за счет так называемого «эффекта балласта» (десенсibilизации) с использованием волокон хризотила как балласта при плотности ЭВВ, поддерживающейся в рамках ТУ.
3. Отсутствие критических изменений во взрывчатых характеристиках ЭВВ.

Это позволит регулировать уровень сенсibilизации и, как следствие – взрывные характеристики ЭВВ на таком направлении взрывных работ как щадящее взрывание (постановка уступов в предельное положение, взрывание отрезной щели и контурных рядов (демпфера) для сохранения массива следующих планируемых к взрыванию блоков). Так же возможно их

применение при добыче и производстве строительного камня и щебней для увеличения процента выхода товарной продукции (борьба с переизмельчением) и добыче драгоценных камней.

Необходимо отметить, что именно подбор процентного содержания волокон хризотила по отношению к ЭВВ будет являться определяющим для получения тех или иных результатов испытаний. Но в любом случае, при получении как положительного, так и отрицательного результата, возможен экономический эффект от применения хризотилового волокна в производстве ЭВВ за счёт его добавки по весу.

Технологически более правильным и целесообразным является ввод добавки на этапе подготовки эмульсионной матрицы: или на фазе приготовления горючих компонентов, или в процессе добавления в уже готовую матрицу с дополнительным перемешиванием, а затем проведение газификации комбинированного состава уже на местах работ.

В период испытаний применялся на более простом ручном перемешивании компонентов в емкостях непосредственно на полигоне перед самым взрыванием. Испытания проводились в два этапа:

Первый этап (лабораторный) – определение способа введения добавки и её количества в ЭВВ, а также определение внешнего вида, электрической ёмкости, плотности, водоустойчивости ЭВВ, исследование под электронным микроскопом его структуры.

Второй этап (практический) – определение взрывчатых характеристик ЭВВ с различным процентом добавки волокон хризотила – измерение плотности, скорости детонации, работоспособности.

Лабораторные исследования возможности введения волокон хризотила в эмульсию порэмита производились для выбора оптимального момента введения добавок и исследования свойств полученных образцов.

На первой стадии исследований были изготовлены три образца.

Образец № 1 был изготовлен с добавлением хризотила в смесь индустриального масла с эмульгатором в количестве 1% по массе сверх 100%. После чего на полученной смеси нефтепродуктов с хризотилом был изготовлен контрольный образец эмульсии порэмита.

Образец № 2 был изготовлен с добавлением хризотила в смесь индустриального масла с эмульгатором в количестве 2% по массе сверх 100%. После чего также был изготовлен образец эмульсии порэмита.

При изготовлении образца № 3 в готовую эмульсию порэмита механическим способом был введён и равномерно распределён 1% волокон хризотила.

Приготовленные образцы эмульсии были исследованы по показателям «внешний вид», «электрическая ёмкость» и «плотность». Данные исследований приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты исследований образцов

№ образца	Внешний вид	Электрическая ёмкость, пФ	Плотность, кг/м ³	Примечание
1	Вещество	214	1320	Через 5 минут после изготовления электрическая ёмкость составляла более 1000 пФ
2	сероватого цвета неоднородной	≥1000	1330	
3	структуры с нарушенной пластичностью	≥1000	1330	

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что добавка сухой фракции хризотила, независимо от способа введения, значительно снижает показатели качества эмульсии. Это заметно по одному из важнейших показателей – электроёмкости. Из анализа видно, что

емкость образца составила 1000 пФ, что предположительно обусловлено тем, что хризотил асбест является прекрасным диэлектриком.

Стабильной считается эмульсия, у которой после темперирования величина емкости не превышает 250 пФ. При повышении данных величин эмульсия считается нестабильной, что не позволяет ее использовать для получения ЭВВ [97]. Однако данный показатель не является в этом случае признаком некачественной эмульсии по следующим причинам:

- в обычных условиях повышение емкости эмульсии без добавления хризотил-асбеста свидетельствует и разрушении масляной пленки вокруг капель раствора аммиачной селитры и расслоении эмульсии;
- введенная добавка разрушения эмульсии не провоцирует, однако изменяет электрические характеристики эмульсии вследствие адсорбционных процессов между хризотил-асбестом и компонентами эмульсии порэмита.

В результате адсорбционных процессов между хризотил-асбестом и водной фазой эмульсии порэмита нарушаются связи, удерживающие нефтепродукты на поверхности капель окислителя, в результате чего нарушается структура эмульсии порэмита, о чём свидетельствует значительное повышение электрической ёмкости.

В распушенном состоянии асбест способен удерживать на поверхности волокон и в промежутках между ними значительное количество раствора окислителя, в результате чего эмульсия порэмита теряет свою пластичность и начинает твердеть. Проведение химической газификации образцов №№ 1-3 не представлялось возможным по причине нарушения структуры эмульсии порэмита, а также твёрдости полученных образцов. Учитывая высокую адсорбционную способность хризотила, было сделано предположение, что предварительное смачивание хризотила позволит избежать адсорбционных

процессов между хризотил-асбестом и водной фазой эмульсии порэмита, так как поры хризотила уже наполнены водой.

Все исследуемые образцы дополнительно были подвергнуты микроскопическому анализу на цифровом микроскопе Levenhuk D-670T. Фотографии изготовленных в лабораторных условиях образцов представлены на рисунке 3.11.

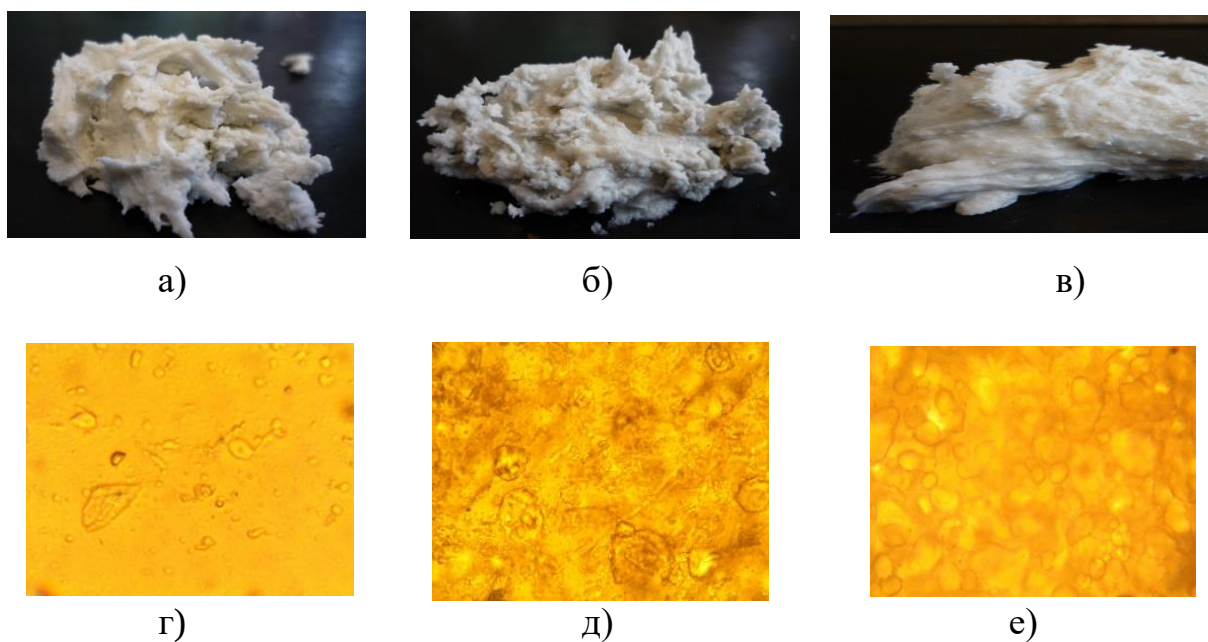


Рисунок 3.11 – Фотографии образцов эмульсии порэмита, изготовленных в условиях лаборатории:

- а) образец № 1; б) образец № 2; в) образец № 3;
- г) образец № 1 при 40-кратном увеличении;
- д) образец № 2 при 40-кратном увеличении;
- е) образец № 3 при 40-кратном увеличении.

Образец № 4 был изготовлен с добавлением предварительно намоченного хризотила в смесь индустриального масла с эмульгатором в количестве 1% по массе сверх 100%. После чего был изготовлен контрольный образец эмульсии порэмита.

При изготовлении образца №5 в готовую эмульсию порэмита механическим способом был введён и равномерно распределён 1% предварительно намоченного хризотила.

Через 1 час после изготовления образца № 4 наблюдалось его отвердевание и повышение плотности с 1330 кг/м³ до 1350 кг/м³. Образец № 5 оставался стабильным на всём протяжении испытаний.

Образцы № 4 и № 5 также были исследованы по показателям внешний вид, электрическая ёмкость и плотность (таблица 3.5).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что смоченный хризотил не нарушает структуру эмульсии. Вместе с тем, наблюдаемое снижение электрической ёмкости в образце № 4 может свидетельствовать об образовании защитного слоя из волокон хризотила на поверхности капель окислителя.

Таблица 3.5 – Результаты исследований образцов эмульсии с добавкой предварительно смоченного водой хризотила

№ образ-ца	Внешний вид	Электрическая ёмкость, пФ		Плотность, кг/м ³	
		сразу после изготовления	через 1 час после изготовления	сразу после изготовления	через 1 час после изготовления
4.	Пластичное вещество сероватого цвета однородной структуры	160	111	1330	1350
5	Пластичное вещество светло-коричневого цвета с вкраплениями хризотила	85	96	1320	1330*

*- после введения хризотила

Образцы № 4 и № 5 были подвергнуты химической газификации путём введения в них механическим способом газогенерирующей добавки (10% раствора нитрита натрия) в количестве 1% сверх 100%. Результаты исследований образцов после газификации приведены в таблице 3.6.

На рисунке 3.12 представлены фотографии образцов № 4 и № 5 в сравнении с контрольным образцом. Учитывая положительные результаты, представляет интерес дальнейших исследований этих составов на детонационную способность и другие взрывчатые характеристики.

Таблица 3.6 – Результаты исследований образцов после газификации

№ образца	Внешний вид	Наличие газификации	Плотность порэмита, кг/м ³
4	Пластичное вещество сероватого цвета	да	1100
5	Пластичное вещество светло-коричневого цвета с включениями волокон хризотила	да	1100



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)



и)

Рисунок 3.12 – Фотографии исследуемых образцов эмульсии порэмита с добавками хризотила в сравнении с контрольным образцом:

- а) контрольный образец; б) образец № 4; в) образец № 5;
- г) контрольный образец при 40-кратном увеличении;
- д) образец № 4 при 40-кратном увеличении; е) образец № 5 при 40-кратном увеличении;
- ж) порэмит, изготовленный из контрольного образца;
- з) порэмит, изготовленный из образца № 4;
- и) порэмит, изготовленный из образца № 5

На рисунке 3.12 (фото з, и) видно изменение пластичности образцов в сравнении с контрольным. Кроме того, в последних образцах в структуре заметны вкрапления хризотила. Это говорит о том, что при применении такого способа флегматизации ЭВВ необходимы технические решения по более мелкодисперсной добавке хризотила, качественному перемешиванию ингредиентов и, следовательно, применение другого насосного оборудования по причине абразивности перекачиваемой эмульсии.

Результаты исследований свидетельствуют о возможной эффективности применения отходов хризотила с предварительным их смачиванием, то есть снижением их адгезионных свойств. Однако следует учитывать, что в данном случае падает электрическая емкость ЭВВ и поэтому требуется дополнительные исследования для ее стабилизации использовании в качестве добавок волокон хризотила.

3.3.3 Использование хлорида натрия (NaCl)

Ранее применённые способы [94] управления энергией взрыва дали снижение мелких фракций с 60% до 38% и увеличение выхода кондиционного куска. С целью дальнейшего снижения доли мелочи предлагается изменение рецептурного состава Порэмита 1А, а именно – ввод в его состав ингибирующей добавки, что, позволит снизить энергию взрыва и

как следствие – уменьшить зону переизмельчения на контакте заряда с породой. В качестве ингибитора в раствор окислителя взамен части аммиачной селитры добавлялся хлорид натрия (NaCl) в количествах 5, 10 и 15% соответственно, поглощающий часть тепла, выделяющегося при взрыве.

При этом снижается температура газообразных продуктов взрыва и интенсивность ударных волн. Как следствие, возможно уменьшение мощности ВВ, его брызганности и дробящего действия взрыва в ближней зоне), а также снижение переизмельчения горной массы. Кроме того, хлорид натрия NaCl является доступным и относительно недорогим материалом.

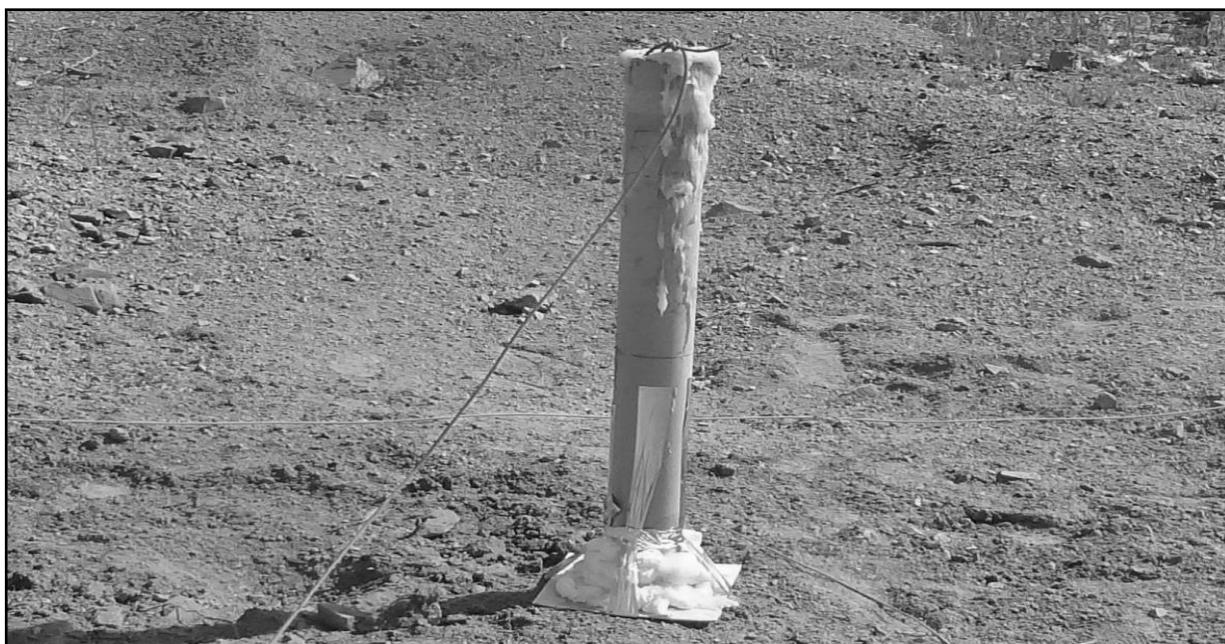


Рисунок 3.13 – Гильза с испытуемым ЭВВ с добавкой хлорида натрия, подготовленная к взрыванию

Для приготовления эмульсии данного состава на первом этапе был изготовлен раствор окислителей с заменой 12,2% аммиачной селитры на галит (технический NaCl). Полученный состав был заряжен в картонные гильзы (рисунок 3.13) и подвергся проверке детонационных характеристик с использованием прибора фирмы DataTrap II.

В результате выполненных исследований установлено, что при добавлении 11% хлорида натрия в раствор окислителя матрицы порэмита

взамен части аммиачной селитры, скорость детонации снижается с 4519 до 4115 м/с, то есть на 10%. При этом коэффициент вариации составляет 4,7%.

После проведенных лабораторно-полигонных испытаний было принято решение о промышленном испытании Порэмита 1А с добавлением NaCl на блоках скальных пород.

03.04.2017 г. в промышленных условиях была изготовлена эмульсия порэмита в количестве 21 тонны следующего состава: аммиачная селитра – 65%; соль поваренная пищевая (NaCl) – 11%, вода – 16%; масло индустриальное – 6,3%; эмульгатор – 1,7%, которая в процессе зарядки скважин была сенсibilизирована газогенерирующей добавкой марки 3 следующего состава: нитрит натрия – 10%, нитрат натрия – 30%.

Результаты измерений скорости и давления детонации при испытании образцов представлены в таблицах 3.7, 3.8, 3.9.

Таблица 3.7 – Результаты замера скорости и давления детонации при испытании образцов порэмита, изготовленных на подкисленных растворах окислителей

№ гильзы 27.07.2016 г.	Средняя скорость детонации по образцу $W_{обр.}$, м/с	Средняя скорость детонации по образцам $W_{ср}$, м/с	Среднее детонационное давление по образцу $P_{обр}$, ГПа	Среднее детонационное давление по образцам $P_{ср}$, ГПа
1	4464	4519	5,70	5,50
3	4519		5,67	
4	4543		5,67	
5	4579		5,74	
8	4707		5,77	
6	4299		4,55	

Таблица 3.8 – Результаты замера скорости и давления детонации образцов порэмита, изготовленных на подкисленных растворах окислителей с добавлением 11% NaCl

№ гильзы 18.08.2016 г.	Средняя скорость детонации по образцу $W_{обр.}$, м/с	Средняя скорость детонации по образцам $W_{ср}$, м/с	Среднее детонационное давление по образцу $P_{обр}$, ГПа	Среднее детонационное давление по образцам $P_{ср}$, ГПа
2	4206	4115	5,06	4,58
1	3853		4,12	
3	4392		5,30	
4	4217		4,87	
5	4016		4,20	
7	4007		3,95	

Таблица 3.9 – Результаты статистической обработки данных скорости детонации и детонационного давления образцов порэмита, изготовленных на подкисленных растворах окислителей с добавкой 11% NaCl

Средняя скорость детонации по образцу $W_{обр.}$, м/с	Средняя скорость детонации по образцам $W_{ср}$, м/с	Стандартное отклонение, м/с	Коэффициент вариации, %	Доверительный интервал с надежностью 95%, м/с	Отношение максимального и минимального значений скорости детонации
Обычный Порэмит 1А на подкисленных растворах окислителей					
4464	4519	135	3,0	108	1,09
4519					
4543					
4579					
4707					
4299					
Порэмит 1А на подкисленных растворах окислителей с добавкой 11% NaCl					
3853	4115	193	4,7	154	1,14
4206					
4392					
4217					
4016					
4007					

Для приготовления эмульсии данного состава был изготовлен раствор окислителей с заменой 11,7% аммиачной селитры на соль поваренную пищевую (NaCl). Данный раствор был подкислен сульфаминовой кислотой до pH=3 с целью расширения временного интервала газификации.

Результаты промышленных испытаний приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты промышленных испытаний порэмита с добавлением хлорида натрия (NaCl)

Дата взрыва	Состав образца	№ пробы	Плотность ВВ в образце, ρ , т/м ³	Полнота детонации
03.04.2017	Эмульсия порэмита партии № 252 с электрической ёмкостью 140 пФ и плотностью 1,33 т/м ³ , изготовленная на подкисленных сульфаминовой кислотой растворах аммиачной селитры с частичной заменой аммиачной селитры на соль поваренную пищевую	1,1	1,21	полная
		1,2	1,22	полная
		1,3	1,21	полная
	Состав: Аммиачная селитра – 65%; Соль поваренная – 11%; Вода – 16%; Масло индустриальное – 6,3%; Эмульгатор – 1,7%; ГГД – 1%			

Фотография блока, взорванного с применением Порэмита 1А с добавлением NaCl, приведена на рисунке 3.14.



Рисунок 3.14 – Блок, взорванный с применением Порэмита 1А с добавлением NaCl

Апробация предложенного способа регулирования энергии взрыва с целью снижения переизмельчения горной массы для производства щебня из перидотита и габбро V категории взрываемости крепостью 11-13 по шкале проф. Протодяконова была осуществлена. Данные, характеризующие эффективность комплексного изменения параметров взрывных работ приведены в таблице 3.11.

Как это было отмечено уменьшение диаметров скважин, применение рассредоточенных зарядов привело к снижению доли пород фракции 0-100 мм в разрушенном массиве до 38 %. [94].

Регулирование энергии взрыва при введением в раствор аммиачной селитры соли дополнительно снизило долю мелких фракций достигло до уровня 29,3% и 31,3% при диаметрах скважин 263,3 мм и 21,17% и 23,3% на диаметрах скважин 226,7 мм.

Для упрощения оценки качества взрывов скальных пород Рудоуправлением была принята градуировка фракционного состава учитывающая в качестве максимума фракцию более 800 мм. Негабаритным куском на карьерах ПАО «Ураласбест» считается 1200 мм, поэтому увеличение выхода негабарита не отмечено и не учитывалось.

Недостатком применения данного способа регулирования взрывчатых характеристик Порэмита 1А является его трудоемкость и сложность механизации дозировки добавляемого хлорида натрия. Технологическое оборудование цеха ЭВВ не предназначено для введения данного вида добавки и его приходится засыпать в аппараты вручную частями, систематически проводя анализ плотности растворов. Данная операция трудоемка и снижает производительность технологического процесса изготовления эмульсии Порэмита 1А.

Опираясь на экспериментальные и практические результаты, применение хлорида натрия при изготовлении и применении эмульсии Порэмита 1А в скважинных зарядах дает эффект снижения взрывчатых характеристик, что эффективно сказывается при взрывании массивов перидотита с целью увеличения выхода кондиционного куска.

Для широкого применения данного способа регулирования взрывчатых характеристик эмульсионных составов необходима доработка технологического оборудования цеха по изготовлению ЭВВ.

3.4 Выводы по главе

1. Исследованы, апробированы и признаны эффективными способы повышения качества разрушения породных массивов, включающие: бурение скважин уменьшенного диаметра; применение в обводнённых массивах

рассредоточенных скважинных зарядов с варьируемой величиной активных и пассивных зон и установкой пневматических затворов, применение зарядов на воздушной или водяной подушке с использованием специальных заглушек, частично (на 50-75%) перекрывающих технологический перебур скважин (защищено патентом).

Таблица 3.11 – Данные опытно-промышленных взрывов ПАО «Ураласбест»

Карьер, борт, горизонт	№ экскава- тора, № блока	Название пород	Количество скв., диаметр, количество рядов	Объем взрыва, тыс. м³	Конструкция заряда в скважине, сведения о ВВ	Сведения об отгрузке блока			Фракционный состав	
						Всего, тыс. т.	Скальной породы	Пустой породы	мм	%
Сведения о скальных породах, отгруженных за июнь 2017 года										
Центральный карьер, западный борт, горизонт +2 м	экс. №291, блок №122	перидотит	53 скважины, ø226,7 мм	33 тыс. м³	Порэмит с добавлением соли 42 скважины (кроме наклонных)	80361	48028	32333	0-100	21,17
									100- 400	33,83
									400- 800	26,99
									>800	6,61
Сведения о скальных породах, отгруженных за июль 2017 года										
Южный карьер, восточный борт, горизонт +2 м	экс. №334, блок №67	перидотит	94 скважины, ø263,3 мм	57 тыс. м³	Порэмит с добавлением соли 72 скважины (кроме наклонных)	153000	141000	12000	0-100	29,3
									100- 400	35,7
									400- 800	27,4
									>800	7,6

Продолжение таблицы 3.11

Южный карьер, восточный борт, горизонт +2 м	экс. №334, блок №75	перидотит	145 скважин, ø263,3 мм	87 тыс. м ³	Порэмит с добавлением соли 135 скважин (кроме наклонных)	232040	221770	10270	0-100	31,3
									100- 400	36,4
									400- 800	22,7
									>800	9,6
Сведения о скальных породах, отгруженных за август 2017 года										
Центральный карьер, западный борт, горизонт +2 м	экс. №337, блок №63-1	перидотит	92 скважины, ø226,7 мм	46 тыс. м ³	Порэмит с добавлением соли 72 скважины (кроме наклонных)	123560	117120	7540	0-100	23,3
									100- 400	38,3
									400- 800	29,2
									>800	9,2

2. Апробация разработанных рекомендаций по данным опытно-промышленных взрывов при диаметре скважин 215,9 мм и 230 мм (сетка: $6,0 \times 5,5$ м, $6,0 \times 6,0$ м и $7,0 \times 6,0$ м) дала удовлетворительные результаты по фракционному выходу взорванной горной массы. Уменьшение диаметра скважин с 244,5 мм до 230 мм и 215,9 мм и применение рассредоточенных скважинных зарядов для разрушения локальных массивов, сложенных особо трудно взрываемыми перидотитами крепостью по шкале М.М. Протоdjяконова 11-13 единиц, снизить долю некондиционной мелкой фракции (0-100 мм) во взорванной горной массе ст 55,9 до 38% при общем снижении затрат на взрывную подготовку горной массы.

3. Опытно-промышленным путем апробирована технология разрушения обводнённых массивов рассредоточенными скважинными зарядами с использованием предложенных и запатентованных специальных пневматических затворов и заглушек для технологических перебуров. Показано, что при использовании рассредоточенных зарядов достигнутый фактический расход ЭВВ при их применении (от 15 до 70% от общего числа взорванных скважин) в сравнении с расчётным в 1,15 – 1,4 раза меньше, чем при сплошных зарядах. Экономия взрывчатых веществ в период опытно-промышленных испытаний составила 160 тонн (в денежном выражении 2,5 млн руб.) при выдерживании необходимой степени дробления пород.

4. Исследованы способы управления энергией взрывного разрушения скальных массивов горных пород зарядами ЭВВ, основанные на добавлении ингибиторов из хризотилового волокна. Установлено, что добавка сухой фракции хризотила, независимо от способа ее введения, значительно снижает показатели качества эмульсии, наличие указанной сухой добавки изменяет электрические характеристики эмульсии вследствие адсорбционных процессов между хризотил-асбестом и компонентами эмульсии порэмита.

5. Показано, что применение отходов хризотила с предварительным их смачиванием эффективно с позиций управления энергией взрывного

разрушения за счет снижения их адгезионных свойств. Требуются дополнительные исследования для стабилизации электрической ёмкости при применении волокон хризотила.

6. Исследование рецептуры ЭВВ при добавлении в них 11% хлорида натрия в раствор окислителя матрицы порэмита взамен части аммиачной селитры выявило эффективность такого способа регулирования энергии взрыва, обеспечивающего снижение переизмельчения горной массы при производстве щебня из перидотита и габбро. Дополнительное снижение доли фракций 0-100 мм до 29,3... 31,3% на диаметрах скважин 263,3 мм и до 21,17...23,3% на диаметрах скважин 226,7 мм обеспечивается снижением скорости детонации ЭВВ с 4519 м/с до 4115 м/с, то есть на 10%, что подтверждено проведением опытно-промышленных взрывов. Применение данного способа регулирования взрывчатых характеристик эмульсионных составов необходима доработка технологического оборудования цеха по изготовлению ЭВВ.

7. В процессе подготовки опытно-промышленных испытаний получена достоверная информация о плотности заряжения скважин Порэмитом 1А, изготовленным СЗМ разных типов. Показано, что высота колонки заряда (в процессе и после заполнения скважины) зависит от плотности ЭВВ, поэтому необходимо контролировать исходную плотность заряжения скважин непосредственно на блоке поскольку качество смешения ЭВВ разными типами смесительно-зарядного оборудования неодинаково. Об этом свидетельствует установленная зависимость средней скорости детонации заряда порэмита 1А от исходной плотности заряжения скважин на экспериментальном блоке. Поэтому одной из главных задач совершенствования процесса изготовления ЭВВ является максимальное выдерживание стабильной плотности ЭВВ при зарядании блока.

8. Экспериментально показано, что разброс высоты колонки заряда тем больше, чем меньше диаметр заряжаемой скважины даже при нормальной

газификации эмульсии 1,0-1,2 кг/м³. При зарядании блоков, обуренных скважинами малого диаметра и заряжаемыми разными смесительно-зарядными машинами (СЗМ), возможны большие отклонения по высоте колонки заряда, что негативно может сказаться на качестве дробления верхней надзарядной части блока, а также размерах и компактности развала взорванной горной массы.

9. Выявлено низкое качество подготовки блоков к взрыванию, связанное с отклонениями сетки скважин и их глубины (недобуривание или перебуривание) по сравнению с проектными значениями. Наличие разных партий изготовленных ЭВВ, разная плотность заряжения (в пределах допуска ТУ), разные марки смесительно-зарядного оборудования, отклонения по глубине и взаимному расположению скважин – провоцируют непрогнозируемое качество взрыва: ширину и высоту развала, качество проработки верхней части взрываемого блока и подошвы уступа, нестабильность гранулометрического состава взорванного массива. Поэтому требуются разработка и внедрение организационно-технических решений для повышения эффективности буровзрывного комплекса.

Полученные результаты в обобщенном виде свидетельствуют о том, что:

- применительно к специфическим условиям разработки горной массы асбестовых месторождений, предназначенной для производства щебня, сокращение доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% достигается комплексным управлением энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием заглушек рекомендованной конструкции. Дальнейшее сокращение доли мелких фракций до уровня 23,3-31,3% обеспечивается введением в раствор ЭВВ 11% поваренной соли;

- исследование способов сенсibilизации зарядов ЭВВ, основанных на добавлении ингибиторов из хризотилового волокна показало, что добавка сухой фракции хризотила, независимо от способа ее введения, значительно снижает показатели качества эмульсии вследствие адсорбционных процессов между хризотил-асбестом и компонентами эмульсии порэмита. Применение отходов хризотила со снижения их адгезионных свойств за счет предварительного смачивания имеет перспективу.

На основании изложенного сформулировано второе научное положение: *при взрывной подготовке массива сокращение доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% достигается комплексным управлением энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием заглушек рекомендованной конструкции. Дальнейшее сокращение доли мелких фракций до уровня 23,3-31,3% обеспечивается введением в раствор ЭВВ 11% поваренной соли*

4 ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

4.1 Требования к рецептурам ЭВВ и текущему контролю готовой продукции

Качественное дробление горных пород на карьерах без существенного увеличения затрат возможно за счет совершенствования как самих взрывчатых веществ, так и технологии взрывного разрушения при использовании ВВ с количеством выделяемого тепла до 3500-6000 кДж/кг, газов до 500-1000 л/кг при температуре 1900-4500°C.

По химическому составу взрывчатые вещества подразделяются на индивидуальные соединения и смеси, которые в свою очередь подразделяются на два типа: первый – смеси, состоящие из окислителя и горючего; второй – смеси, состоящие из одного или нескольких индивидуальных ВВ и различных добавок, обеспечивающих необходимые технологические и эксплуатационные свойства смеси.

Для разрушения обводнённых массивов на горных предприятиях ассортимент ВВ представлен [97] в первую очередь водоземлюльсионными ВВ типа Порэммит разных марок, гранэмитами И30 и И70, Тованами и Нитронитами разных составов, простейшим взрывчатым веществом гранулитом типа Игданит и для сравнения в качестве эталона для водостойчивых ВВ – гранулотолом (таблица 4.1).

Эффективность и безопасность взрывных работ во многом определяется свойствами применяемых взрывчатых веществ. В этой связи, совершенствование технологии взрывного разрушения локальных массивов на карьерах обусловлено разнообразием ассортимента ВВ. Одним из перспективных направлений является снижение стоимости взрывчатых веществ, поскольку затраты на ВВ в общих затратах на взрывное разрушение горных пород достигают до 70-75%.

Таблица 4.1 – Эмульсионные промышленные ВВ, допущенные Ростехнадзором для применения в России

Наименование ВВ	Марка ВВ	Характеристики ВВ				
		Теплота взрыва, ккал/кг	Концентра- ция энергии, ккал/дм ³	Плотность заряжания, кг/м ³	Скорость детонации, км/с	Газовая вредност ь, л/кг
Гранулотол		980	980	1000	5,0-5,2	275
Игданит		920	820	900	2,2-2,7	45
Порэммит 1	ИМ-Н	689	861	1250	4,9-5,2	12,2
Порэммит 1А		720	900	1200	4,9-5,1	40
Порэммит М	4А	870	1130	1300	4,8-5,1	42
	8А	1040	1400	1350	4,9-5,3	54
Гранэммит	И-30	800	1080	1350	4,9-5,2	38
	И-30П	801	1041	1300	5,0-5,5	32
Гранэммит	И-50	835	1170	1400	4,8-5,2	36
	И-50А	814	1140	1350	4,0-4,8	36
	И-50П	835	1169	1400	4,8-5,4	34
	И-70	870	1130	1300	3,5-4,6	34
Эмульсолит	-	690	862	1250	4,6-5,2	30
	А-20	710	923	1300	4,1-5,1	24-47
Эмулогран	Э-30	740	962	1300	4,0-5,1	
	Э-50	790	1066	1350	4,0-4,8	
Сибирит	1000	690	862	1250	4,4-5,2	
	1200	720	864	1200	4,3-5,1	
	2500 РЗ	810	1053	1300	4,6-5,3	
Иремекс		658-750	822-937	1170-1320	4,2-5,2	
Ирегель		730-804	912-1005	1250	4,1-4,5	
Тован		725		1200	4,1-4,5	
Тован	25/75	862		1200	4,1-5,1	
Тован	60/40	798		1200	4,1-5,1	
Эмулит	ВЭТ 300	790	1027	1300	4,3-5,3	
Нитронит	Э-20	852		900-1050	4,2-4,7	

Примечание: В таблице представлены как «наливные» ЭВВ, так и патронированные.

При создании новых рецептур взрывчатых веществ необходимо предусматривать возможность их изготовления вблизи мест применения. Другим важнейшим направлением повышения эффективности взрывных работ является создание и внедрение прогрессивных технологий разрушения горных массивов, на базе применения ВВ, приготовленных на основе обратных эмульсий. Они являются наиболее универсальными и позволяют менять взрывчатые характеристики в достаточно широких пределах путем изменения компонентного состава и степени аэрации взрывчатой смеси [60, 61, 62].

Мировой опыт их применения показывает, что дальнейшее повышение эффективности эмульсионных ВВ идет по пути создания смесей «эмульсионное взрывчатое вещество плюс АС-ДТ», то есть – гранэмитов, а в зарубежной практике – эмуланов. Эффективность нового взрывчатого вещества достигается за счет снижения на 20-30% стоимости по сравнению с чистыми эмульсионными ВВ при улучшении энергетических и детонационных характеристик. Изготовление взрывчатых веществ в условиях предприятий-потребителей вблизи мест их применения в России начато значительно позднее, чем в ведущих зарубежных странах (США, Канада, Швеция и др).

ЭВВ Порэмит 1А разработки ГосНИИ «Кристалл» (г. Дзержинск Нижегородской области) – эмульсионное взрывчатое вещество 1 класса на водной основе, рекомендуется для применения при производстве взрывных работ на породах малой и средней крепости с механизированным способом заряжания обводненных скважин на открытых горных разработках. Оно состоит из мельчайших капелек раствора окислителей (аммиачной селитры с добавками натриевой и кальциевой селитр), плотно заполняющих поры между частицами смеси нефтепродукта с эмульгатором, а при большом увеличении (под микроскопом) напоминают пчелиные соты, с толщиной мембран из горючего, разделяющих капельки – менее одной десятитысячной

миллиметра [97]. Это создает большую площадь соприкосновения между топливом и окислителем в результате чего достигается очень быстрое и полное взрывное сгорание смеси. Мембраны из масла защищают каждую капельку окислителя и делают его очень водостойким.

Один из вариантов регулирования степенью чувствительности эмульсии возможен добавкой в нее микросфер – мельчайшие полых шариков из стекла с диаметром – 0,1 мм. Эти микрошарики мгновенно разрушаются под воздействием ударной волны от капсюля-детонатора или запала, тем самым усиливая ударную волну и способствуя более быстрому взрывному сгоранию эмульсии. Шарики являются, как и пузырьки газифицированной эмульсии, центрами детонации.

Особо значимыми факторами, определяющими необходимую степень дробления горных пород, являются тип и свойства взрывчатых веществ, которые должны максимально соответствовать свойствам разрушаемой среды, для обеспечения минимальных затрат на подготовку горной массы необходимого качества [66, 67, 68].

Для обеспечения высокой эффективности и безопасности при дезинтеграции горных массивов, взрывчатым веществам необходимо придать комплекс свойств и эксплуатационных характеристик, установленных соответствующими нормативными документами – Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правилами безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения», государственными и отраслевыми стандартами на ВВ, ведомственными техническими условиями и др. Технические требования к взрывчатым веществам группируются следующим образом:

- энергетические и детонационные характеристики ВВ, определяющие их работоспособность и эффективность в заданных условиях применения: теплота взрыва, работоспособность, детонационное давление и др.;

- показатели, характеризующие безотказность и полноту детонации ВВ: критическая плотность заряда, критической и предельный диаметр зарядов, минимальный инициирующий импульс и восприимчивость к первичным средствам инициирования, расстояние передачи детонации между отдельными частями колонки заряда;

- эксплуатационные характеристики ВВ: исходная плотность, агрегатное состояние, структура и реологические свойства (пластичность, текучесть, вязкость), сыпучесть, водоустойчивость, морозостойкость, физическая стабильность и сохранность взрывных характеристик;

- показатели, характеризующие безопасность применения, хранения и транспортирования ВВ, включая: чувствительность к тепловым и механическим воздействиям, разрядам статического электричества, токсичность продуктов взрыва, химическую стабильность и способность к химическому взаимодействию с горными породами и грунтовыми водами, предохранительные свойства и ряд других.

При конструировании рецептуры взрывчатого вещества необходимо максимально обеспечить все вышеперечисленные требования. Отдельные эксплуатационные свойства можно обеспечить определенными рецептурно-технологическими приемами.

Водоустойчивость смесевых ВВ, содержащих водорастворимые соли, достигается заряданием под столб воды или заряданием в водонепроницаемые оболочки. Плотность может быть увеличена за счет перевода окислителя или части его в высококонцентрированный раствор или за счет специальных способов зарядания (пневматическое зарядание). Существуют добавки, снижающие (флегматизаторы) или, наоборот, повышающие (сенсibilизаторы) чувствительность ВВ к внешним воздействиям. Энергетические характеристики могут быть повышены путем оптимизации соотношения горючего и окислителя в составе смесового ВВ, обеспечивающего максимальное выделение энергии в результате

окислительно-восстановительных реакций между этими компонентами или продуктами их распада.

Таблица 4.2 – Влияние кислородного баланса на свойства ЭВВ [97]

Кислородный баланс	Скорость детонации, м/с, при открытом диаметре 40 мм	Работоспособность. % к ТНТ
-10	4810	106
-7,5	4900	107
-5,0	5050	109
-2,5	4950	113
0	4900	114
+2,5	4760	113
+5,0	4560	112
+7,5	4310	109

Наибольшее выделение энергии обеспечивается при стехиометрическом соотношении компонентов, отвечающем нулевому кислородному балансу. В энергетическом отношении выгодно применение горючих с высокой теплотворной способностью, например, высококалорийных металлов типа алюминия, и окислителей с большим избытком кислорода и более низкой теплотой образования. Как видно из данных таблицы 4.2, прослеживается зависимость увеличения работоспособности эмульсионного взрывчатого вещества от кислородного баланса, близкого к нулевому. Кислородный же баланс напрямую зависит от процента горючего во взрывчатом веществе. Правильно подобранный процент горючего к нулевому кислородному балансу даёт наивысшую работоспособность ЭВВ.

Безопасность в обращении обеспечивается за счет приготовления ВВ из невзрывчатых компонентов и придание смеси взрывчатых свойств в процессе заряжания скважин [60, 69].

При конструировании рецептуры ВВ в первую очередь необходимо обеспечить характеристики, оказывающие наибольшее влияние на эффективность работы взрыва. Каждый конкретный тип взрывчатого вещества может быть охарактеризован определённым набором параметров, инвариантных относительно условий взрывания. Такими характеристиками являются: плотность заряжения ρ_0 , скорость детонации V_d ; теплота взрыва Q_v ; значение массовой скорости, плотность продуктов детонации (ПД), давления, удельной внутренней энергии в точке Чемпена-Жуге и другими способами. Выделение нескольких параметров из перечисленных при описании взрыва заряда ВВ резко сужает область возможных на их основе выводов и рекомендаций. Это отмечают многие исследователи. К.К. Шведов в работе [59] считает, что «комплекс всех параметров детонации, в том числе и показатель политропы, влияет «непосредственно на показатели не только ближайших форм работы взрыва, но и на дробление и выброс горных пород». Что же касается количественного рассмотрения движения ПД, то его осуществление принципиально невозможно без знания всех указанных характеристик для каждого ВВ, вследствие взаимной зависимости ρ_0 , V_d , Q_v и параметров в точке Чемпена-Жуге. Следовательно, для корректного решения задачи о взрыве заряда ВВ (в частности, скважинного) в среде необходимо определение количественных значений указанных параметров, а при создании новых рецептур ВВ необходимо так подбирать компонентный состав, чтобы можно было обеспечить требуемые величины перечисленных параметров.

Для качественного изготовления ЭВВ на местах производства работ структура производства ЭВВ на предприятии должна включать:

- соответствие разработанной технологии производства (ТУ);
- контроль за технологией производства разработчиком технологии.

Например, в ПАО «Ураласбест» – АО ГосНИИ «Кристалл»;

- контроль качества входящего сырья;

- контроль качества исходящего продукта (матрицы) на самом производстве ЭВВ (плотность, электроёмкость, вязкость и т.д.);
- контроль качества при смешении компонентов на местах производства взрывных работ (в скважине);
- контроль детонационных характеристик ЭВВ (замер скорости детонации).

В создание оптимальных рецептур должен быть положен принцип достижения наибольшего результирующего эффекта:

- улучшения непосредственно эффекта взрыва за счет применения рациональных рецептур эмульсионных ВВ и варьирования их взрывчатыми и физико-химическими веществами;

- удешевление стоимости взрывчатых смесей, изготавливаемых на местах по сравнению с ВВ, завозимыми с заводов-изготовителей [60, 64, 66].

Качество эмульсии порэмита контролируется по следующим показателям:

- электрическая ёмкость, не более 200 пФ – основной показатель оценки качества;
- плотность, не менее 1320 кг/м³ – показатель оценки безопасности продукта;
- температура, (75-85)⁰С – показатель оценки безопасности продукта.

Для исключения нарушения стабильности эмульсии порэмита (расслаивания) в современном производстве введён дополнительный контроль. Так, ещё на этапе изготовления раствора аммиачной селитры контролируется рН окислителя с целью исключения увеличения кислотности среды, которая неминуемо ведёт к нарушению стабильности эмульсии порэмита при транспортировке. рН у окислителя, не подкисленного сульфаминовой кислотой, должна быть 5,5, а у подкисленного – не менее 2,5.

При необходимости (введение в производство сырья от новых поставщиков, новых номенклатур, сомнений в качестве), образцы эмульсии порэмита, предварительно подвергаются термостатированию в лабораторных условиях.

Термостатирование образцов ведётся в лабораторном термостате при температуре 85⁰С в течение 6 часов. Эмульсия порэмита считается стабильной, если её электрическая ёмкость остаётся меньше 300 пФ.

По факту эмульсия порэмита 1А, выпускаемая ПАО «Ураласбест», обычно после термостатирования показывает результат, близкий к 200 пФ (220-250 пФ).

Процесс исследования эксплуатационных и взрывчатых характеристик эмульсионных взрывчатых ВВ довольно сложен из-за наличия многофазных поверхностей в сочетании с многокомпонентными рецептурами и взаимным влиянием друг на друга. Ранее показано, что любая эмульсия является термодинамически неустойчивой системой и со временем происходит ее разрушение и старение [97].

Свойства эмульсионных ВВ изучены значительно меньше, чем у других известных классов порошкообразных и гранулированных ВВ. Поэтому при разработке новых классов ЭВВ на основе обратных эмульсий многие методики оценки эксплуатационных свойств и качеств составов оказались непригодными и потребовалась разработка специальных методов исследования [97].

Снижение взрывчатых характеристик происходит в результате вымывания растворимой части эмульсии при контакте с водой. В России водоустойчивость ЭВВ определяют по количеству окислителя, перешедшего из эмульсии в воду при определённом времени выдержки образца. За предельно допустимую величину при применении ЭВВ принят показатель водоустойчивости, равный 5% (2 кг/м²) за все время нахождения заряда в воде, при котором глубина проникновения воды в вещество соответствует 5 мм. Максимальный срок нахождения заряда ЭВВ в воде составляет 30 суток, а наиболее распространённое время от момента зарядания до взрыва соответствует 6 суткам. [97]

В ПАО «Ураласбест» водоустойчивость определяется следующим образом: в стакан помещается 50 мл эмульсии и заливается 50 мл воды. По истечению 4 часов или 24 часов, в зависимости от задачи, раствор сливается и проводится его титрование. Показатель должен быть не более 5%.

Одним из основных показателей качества эмульсии ЭВВ (матрицы) является ее плотность - должна быть не выше $1,320 \text{ кг/м}^3$.

Для экспресс-оценки качества получаемой эмульсии используется один из основных методов – определение электроемкости (электропроводность или сопротивление). Диэлектрические свойства эмульсии оцениваются как правило по диэлектрической проницаемости (E) и сопротивлению (R).

При оценке диэлектрических свойств свежеприготовленных эмульсий в настоящее время используется прибор ЕС-2. Определение электропроводности проводится при комнатной температуре путем погружения датчика прибора в эмульсию, находящуюся в стеклянном стакане объемом 200-300 мл. Идея метода состоит в том, что при изменении стабильности за счет коалесценции или диффузии капелек окислительной фазы происходит образование крупных включений с последующим разделением эмульсии на два слоя. Это приводит к изменению проводимости эмульсии и ее электрических характеристик. В начальный момент испытания частицы токопроводящей окислительной фазы разделены прослойкой диэлектрика (горючей фазой), и емкость имеет наименьшее значение. По мере укрупнения капелек окислительной фазы и расслоения эмульсии уменьшается количество перегородок горючей фазы и проводимость эмульсии увеличивается. [97]. Температура изготовленной эмульсии в соответствии с ТУ должна соответствовать 85 C^0 . Температура готовой эмульсии измеряется на выходе из аппарата эмульгирования перед погрузкой в автоцистерну.

Измерение вязкости эмульсии в лаборатории цеха по изготовлению ЭВВ ПАО «Ураласбест» проводится с помощью специального прибора –

вискозиметра марки VIS-T. Так как в ТУ на Порэмита 1А отсутствуют требования измерения вязкости, то данный способ является дополнительным и в основном его результаты дают основу для прогнозирования работы насосного оборудования, давления в зарядном рукаве смесительно-зарядной машины, что является важным для персонала, их обслуживающего и ведущего зарядание скважин.

4.2 Исследование свойств и характеристик ЭВВ (матрицы) по методике ООН

В 2005 году в решении совещания Ростехнадзора по вопросу безопасности эмульсионных взрывчатых веществ разработчикам предписано провести их испытания с участием экспертных организаций и предприятий. В связи с этим в ПАО «Ураласбест» был проведен необходимый комплекс испытаний матрицы эмульсии Порэмита 1А, а именно:

- испытание для определения теплоустойчивости;
- ударное испытание для определения чувствительности к сильному удару (передача детонации через зазор);
- испытание для определения воздействия нагревания в ограниченном объёме (испытание по Коенену);
- испытание для определения пригодности к перевозке в цистерне.

4.2.1 Испытание 8а для определения теплоустойчивости проведено с целью определения устойчивости эмульсии для температур, которые могут наблюдаться в процессе перевозки в цистернах.

Используемое оборудование: сушильная печь, сосуд Дьюара, термометр.

Подготовка эксперимента: сосуд Дьюара заполнялся 400 мл испытуемого вещества, вводился термометр. Сосуд устанавливался в разогретую камеру (рисунок 4.1), температура в камере на 20°C выше температуры эмульсии, в нашем случае – 100°C (рисунок 4.2).



Рисунок 4.1 – Сушильная печь с испытуемым веществом

Длительность эксперимента: Испытание продолжалось 10 дней, при непрерывном нагревании образца, при этом постоянно контролировалась температура образца и испытательной камеры (100 градусов). Испытания прекращаются досрочно если температура образца превысит на 6 градусов температуру испытательной камеры.

В указанное время температура образца не превышала 100 градусов, поэтому *эмульсия Порэмита 1А считается теплоустойчивой и может быть подвергнута дальнейшим испытаниям.*



Рисунок 4.2 – Температура вещества (72°) и температура нагрева 100°

4.2.2 Испытание 8b – Ударное испытание для определения чувствительности к сильному удару (передача детонации через зазор) проводилось с целью измерения чувствительности вещества-кандидата к определенному уровню удара.

Используемое оборудование и материалы: детонатор, соответствующий стандарту ООН, или его эквивалент, деревянный брусок диаметром 95 мм и длиной 25 мм с отверстием, просверленным через центр (для удержания детонатора); спрессованный брикет пентолита 50/50, диаметром 95 мм и длиной 95 мм, плотностью 1600 кг/м^3 ; Стальная холодноотянутая бесшовная трубка с внешним диаметром 95 мм, толщиной стенок 11,1 мм и длиной 280 мм, имеющая стандартные механические свойства: прочность при растяжении 420 Мпа, удлинение 22%, твердость по Бринеллю 125; образец эмульсии (воздушный зазор между образцом и стенками трубки должен быть минимальным); литая полиметилметакриловая прутковая заготовка диаметром 95 мм и длиной

70 мм. При длине зазора 70 мм ударное давление на эмульсию составляет в пределах от 3,5 до 4 ГПа; пластина из мягкой стали размером 200 × 200 × 20 мм; картонная трубка с внутренним диаметром 97 мм и длиной 443 мм.

Подготовка эксперимента: детонатор, донор, зазор и заряд-акцептор устанавливаются коаксиально над центром контрольной пластины (рисунок 4.3). Обеспечивается надежный контакт между детонатором и донором, донором и зазором, зазором и зарядом-акцептором. В ходе испытаний, испытуемый образец и бустерный заряд должны иметь температуру окружающего воздуха.

Особенности подготовки эксперимента: так как российские предприятия не выпускают пентолитовые брикеты указанного типоразмера (диаметром 95 мм и длиной 95 мм), то был подобран заряд из имеющегося ассортимента шашек-детонаторов, допущенных Ростехнадзором РФ к применению, который бы создавал аналогичное детонационное давление на границе активный заряд – инертный промежуток. Поскольку давление детонации примененной шашки ТС-1000Л в 1,4 раза меньше, чем у пентолита той же массы, то плегсиглассовый зазор был уменьшен в 1,4 раза, т.е. его толщина составила 45 мм против 70 мм. При испытаниях учтена также разница в диаметрах шашки ТС-1000Л (75 мм) и пентолитового брикета (90 мм).

Адекватность условий испытаний достигнута расчетом, выполненным по оригинальной методике ООО «Промтехвзрыв» (г. Москва), утвержденной Ростехнадзором РФ, предусматривающим использование картонной гильзы (диаметр 90 мм), у которой зазоры между ее стенками и шашкой ТС-1000Л заполнены аммонитом 6ЖВ (рисунок 4.4). Установка в сборе, обеспечивающая требуемые условия испытаний, представлена на рисунке 4.5.



Рисунок 4.3 – Шашка с зазором

Длительность испытаний:

Испытания проводились трижды. Эмульсия Порэмита 1А не сдетонировала в ходе испытаний при длине зазора 45 мм (пластина-свидетель не пробита) (рисунок 4.6), что дает право *отнести эмульсию к группе «Эмульсия, суспензия или гель нитрата аммония, используемые в качестве промежуточного сырья при производстве бризантных взрывчатых веществ».*



Рисунок 4.4 – Заполнение свободных промежутков Аммонитом 6 ЖВ.



Рисунок 4.5 – Установка в сборе



Рисунок 4.6 – Пластина-свидетель после испытания

4.2.3 Испытание 8с для определения чувствительности вещества к воздействию интенсивного нагрева применяется для определения чувствительности вещества – кандидата на включение в группу «Эмульсия, суспензия или гель нитрата аммония, используемые в качестве промежуточного сырья при производстве бризантных взрывчатых веществ», к воздействию интенсивного нагрева в условиях сильно ограниченного объема.

Используемое оборудование и материалы :набор стальных трубок одноразового использования с запорным элементом многоразового использования, которые устанавливается в защитно-нагревательном устройстве.

Подготовка эксперимента: трубка массой $25,5 \pm 1,0$ г изготавливается методом глубокой вытяжки из листовой стали соответствующего качества. Открытый конец трубки имеет фланец. Закрывающаяся пластина с отверстием, через которое выходят газы разлагающегося испытуемого

вещества, изготавливается из жаропрочной хромистой стали и имеет выпускные отверстия диаметром: 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 – 5,0 – 8,0 – 12,0 – 20,0 мм (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Трубки с калибровочными отверстиями

Особенности подготовки эксперимента: нагрев трубки осуществляется с использованием пропана, который подается из баллона, оснащенного регулятором давления, через расходомер и распределительный коллектор на четыре горелки. Скорость нагрева $3,3 \pm 0,3 \text{ K/s}$. Поскольку при испытании трубка может быть разрушена, нагрев производится в защитном сварном ящике, конструкция и размеры которого показаны на рисунке 4.8. Трубка размещена на двух стержнях, установленных в отверстиях, просверленных в противоположных стенках ящика. Расположение горелок показано на рисунке 4.8.

Прибор для испытания помещается в защитную зону. Эмульсия «Порэмит 1А» загружается в трубку на высоту 60 мм. Резьбовое кольцо

надевается на трубку снизу, вставляется соответствующая пластинка с отверстием, гайка завинчивается. Каждая трубка использовалась только для одного испытания. Резьбовые кольца и гайки использовались повторно.

Длительность испытаний: трубка устанавливается в жестко установленные тиски, а гайка завинчивалась гаечным ключом. Затем трубка укладывается на два стержня в защитном ящике. Испытательная зона освобождается, подается газ и зажигаются горелки. Горелки зажигаются одновременно электрическим воспламенителем. Если разрыва не происходит, то нагрев продолжается в течение пяти минут.

Испытание по 8 диаметрам зазоров опытных трубок привело к виду разрушения «0» во всех испытаниях, в связи с чем результат рассматривается как «отсутствие взрыва» в результате интенсивного нагрева (рисунок 4.9). Таким образом, предельный диаметр зазора для эмульсии «Порэмит 1А» составляет менее 1 мм.



Рисунок 4.8 – Защитный сварной ящик с горелками



Рисунок 4.9 – Трубка с калибровочным отверстием 1 мм после испытания

4.2.4 Испытание 8 d не предназначено для отнесения эмульсии к классу 5.1; оно предназначено для оценки пригодности эмульсии «Порэмит 1А» веществ к перевозке в цистернах. Испытание с использованием трубы с выпускным отверстием предназначено для оценки эффекта воздействия на эмульсию «Порэмит 1А» – кандидата на включение в группу «Эмульсия, суспензия или гель нитрата аммония, используемые в качестве промежуточного сырья при производстве бризантных взрывчатых веществ», открытого огня в ограниченном объеме при наличии выпускного отверстия.

Используемые приборы и материалы: а) стальная труба диаметром 31 ± 1 см и длиной 61 ± 1 см, к нижнему концу которой приварена квадратная пластина из мягкой стали размером 38×38 см и толщиной $10 \pm 0,5$ мм. К верхней части трубы приваривается квадратная пластина из мягкой стали размером 38×38 см и толщиной $10 \pm 0,5$ мм, в центре которой имеется выпускное отверстие диаметром 78 мм; к этому отверстию приварен

стальной патрубком длиной 152 мм с внутренним диаметром 78 мм (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Установка в сборе, её наполнение

б) металлическая решетка, на которую укладывается заполненная труба с целью соответствующего нагрева. Поскольку для костра использовались древесные материалы, то решетка находилась на расстоянии 1,0 м от уровня грунта;

в) топливо в достаточном количестве;

г) Подходящее средство воспламенения для поджигания топлива с двух сторон, например, в случае горения костра с использованием древесных материалов – керосин для смачивания древесного материала;

д) Видеокамера и фотоаппаратура для цветной записи происходящего.

Подготовка эксперимента: труба заполнялась эмульсией «Порэмита 1А» без трамбовки (рисунок 4.10). Заполнение трубы эмульсией производилось осторожно, без образования пустот. Стальная труба в вертикальном положении была помещена на решетку и закреплена с целью недопущения опрокидывания. Топливо размещалось под решеткой таким образом, чтобы пламя полностью охватывало трубу. Для костра использовалась поленница высушенных на воздухе поленьев, которые были уложены штабелем под решеткой. Древесный материал выступал от края трубы на расстояние не менее чем на 1 метр во всех направлениях (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Установка со штабелем топлива (поленьев), готовая к испытаниям

Длительность и результаты испытания:

Поддержание огня в течение не менее 30 мин, если необходимо, то до момента, когда не останется сомнений в том, что прошло достаточно времени для наступления реакции на действие огня.

Поскольку взрыва трубы не произошло и осколки не разлетались, результат оценивается как «отрицательный» (рисунок 4.12). Таким образом, эмульсию «Порэммит 1А» можно перевозить в цистернах.



Рисунок 4.12 – Установка после испытания

Проведенные испытания матричной эмульсии «Порэммит 1А» дают основания отнести его к классу 5, подкласс 5.1., номер ООН 3375 «аммония нитрата эмульсия, суспензия или гель, промежуточное сырьё для бризантных взрывчатых веществ, жидкое», о чем экспертной организацией ООО «Промтехвзрыв», г. Москва, был подготовлен пакет документов и на их основании выдано свидетельство Ростехнадзора РФ о соответствии эмульсии, производимой в ПАО «Ураласбест», всем требованиям ООН.

Подобные испытания, кроме ПАО «Ураласбест», ни одна организация в России, изготавливающая эмульсионные взрывчатые вещества, не провела. Данные испытания для нашей страны являются уникальными. Накопленный при испытаниях опыт дает основания для разработки экспресс-методики

определения свойств и характеристик эмульсионных взрывчатых веществ, изготовленных вблизи мест их применения.

4.3 Экспресс-методика определения свойств и характеристик эмульсионных взрывчатых веществ, изготовленных вблизи мест их применения

При исследовании ЭВВ кроме качества и технических характеристик, как показало испытание по методике ООН большое значение имеет безопасность их использования, как при применении, так и при возникновении критических и нестандартных ситуаций, которые возможны на производстве ЭВВ.

При подготовке технологических взрывов на карьерах чаще всего используют показатель «плотность заряжания» (вес в кг 1 м длины заряда), так как он позволяет рассчитать вес ВВ при любой длине и конструкции заряда. Для разрушения единицы объёма или веса породы необходим определённый заряд взрывчатого вещества, поэтому плотность заряжания также влияет и на выбор диаметра заряда. В ряде конкретных случаев, когда большая ЛСПП, для размещения расчётного заряда возникает необходимость увеличить диаметр скважин, а иногда приходится снижать плотность заряжания путём рассредоточения заряда по высоте скважины. У большинства ВВ промышленного назначения плотность заряжания скважин варьирует в пределах от 0,8 до 1,6 г/см³, что, в конечном счёте, определяет высоту колонки скважинного заряда и качество подготовки горной массы к выемке.

Первоочередной задачей при заряжании скважин является обеспечение необходимой исходной плотности ЭВВ, при которой будет обеспечена надёжная детонация заряда. В этих условиях было принято решение определять исходную плотность заряжания скважин порэмитом 1А экспресс-методом непосредственно в карьерных условиях.

Для этого было предложено и апробировано оборудование, размещенное в грузопассажирском автомобиле (рисунок 4.13). При проведении экспресс-анализа ЭВВ в ПАО «Ураласбест» на местах применения используются следующие средства измерения и приспособления:

- переносные весы с погрешностью взвешивания до 1 г (таблица 4.3). Весы соответствуют директиве ЕС 2004/108 и последующих к ней изменений;

- мерная ёмкость (стакан) из нержавеющей стали или алюминия высотой 250-300 мм и диаметром 80-90 мм;

- штангенциркуль по ГОСТ 166-89 с отсчётом по нониусу 0,1 мм; термометр для замера температуры взрывчатой смеси перед взвешиванием. Определение плотности ЭВВ производится в процессе заряжания скважин по нижеописанной методике:

Подготовка к проведению замеров заключается в следующем:

- штангенциркулем измеряется внутренний диаметр (d) и высота мерной емкости (стакана) из нержавеющей стали (h);

- вычисляется внутренний объём мерной емкости (стакана) (V) по формуле:

$$V_c = 0,785d^2h \quad (4.1)$$

где V_c – внутренний объём стакана, см³;

d – внутренний диаметр стакана, см;

h – внутренняя высота стакана, см;

- пустой стакан взвешивается на весах и результат взвешивания до целых единиц записывается в журнал наблюдений.

Таблица 4.3 – Краткая техническая характеристика весов для проведения экспресс-анализа ЭВВ на местах применения

Наименование показателя	Значение
Размеры	215 x 150 x 15 мм
Диапазон измерения	от 3 до 5000 г (1/8 унции – 11 фунтов)
Мерная шкала	1 г (1/8 унции)
Электропитание	1 литиевая батарейка 3В CR2032
Показание веса	с точностью до 1 г

Проведение опытных замеров проводится в следующем порядке:

- мерный стакан, прогретый до 60-70°C, наполняется из зарядного рукава СЗМ в процессе зарядания скважин в карьере;



Рисунок 4.13 – Передвижная лаборатория по определению свойств ЭВВ

- производится осторожное встряхивание и постукивание дном стакана о подставку, чтобы ЭВВ равномерно заняло весь объём мерной ёмкости (стакана);
- наполненный стакан устанавливается на весы и производится взвешивание с записью результата в журнал наблюдений;
- по истечении 30 минут (согласно ТУ) выступающая часть ЭВВ удаляется шпателем с выравниванием поверхности по срезу стакана;
- производится повторное взвешивание стакана, заполненного ЭВВ.

Результаты замеров заносятся в базу данных в ноутбук. Составляется выборка опытных данных по определению плотности заряжания. Производится обработка опытно-статистических данных с использованием методов математической статистики.

Методика предполагает замер плотности ЭВВ с каждой СЗМ три раза. В начале разгрузки СЗМ (после первых выгруженных 300 кг), в середине разгрузки (после 4-7 тонн в зависимости от грузоподъемности СЗМ) и в конце разгрузки (после 7-10 тонн в зависимости от грузоподъемности СЗМ). На рисунке 4.14 приведена диаграмма варьирования плотности порэмита 1А в процессе заряжания скважин смесительно-зарядной машиной.

Замеры также проводились при заряжания скважин СЗМ грузоподъемностью 8, 10 и 15 т на Центральном и Южном участках карьера [70,71,72,73,74,75,76]:.

- Центральный участок карьера, горизонт -28 м, восточный борт, блок №130, экскаватор №288; горизонт -122 м, западный борт, блок №113, экскаватор №329; горизонт -28 м, восточный борт, блок №108 П, экскаватор № 294, СЗМ МЗВ-8-1, МЗВ-8- 2, МЗВ-15-1;
- Южный участок карьера, горизонт -47 м, восточный борт, блок №90-2, экскаватор №334; горизонт -107 м, западный борт, блок №124-2, экскаватор №262, СЗМ МЗВ-8-3, МЗВ-10-1, МЗВ-15-1.

Результаты обработки экспериментальных замеров исходной плотности приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Показатели плотности заряжения скважин порэмитом 1А

Наименование показателей	Марка и грузоподъёмность смесительно-зарядной машины				
	МЗВ-8-1	МЗВ-8-2	МЗВ-8-3	МЗВ-10-1	МЗВ-15-1
Количество замеров, ед.	14	12	16	15	17
Плотность заряжения, г/см ³	1,11 – 1,30	1,11 – 1,24	1,06 – 1,26	1,02 – 1,32	1,08 – 1,29

Установлено что при выпуске одной партии ЭВВ, но отгруженной в разные СЗМ с разными техническими характеристиками, на заряжаемом блоке происходит изменение плотности ЭВВ относительно предыдущих параметров, использование смесительно-зарядной техники меняющимися климатическими изменение которых не всегда может отследить оператор СЗМ. Неконтролируемые отклонения от установленных параметров, как правило, приводили к браку при взрывании блоков.

Представленная на рисунке 4.14 диаграмма показывает, что одна СЗМ в разные дни заряжения при стабильной матрице (с плотностью 1,32 кг/м³) может давать результаты конечной плотности Порэмита 1А со значительно отличающимися показателями.

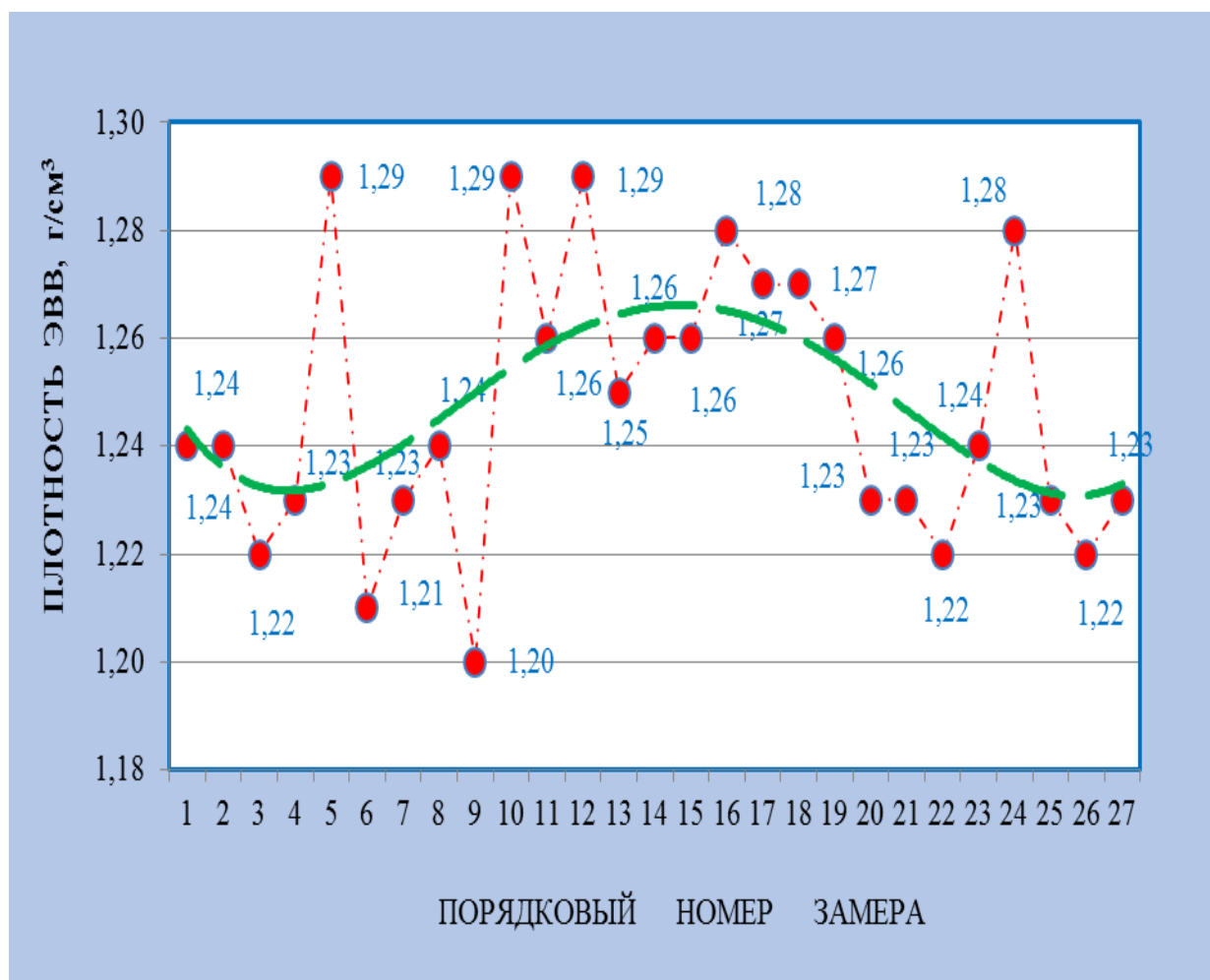


Рисунок 4.14 – Диаграмма варьирования плотности Порэмита 1А в процессе заряжания скважин СЗМ МЗВ-15 по трём циклам замеров в разные дни

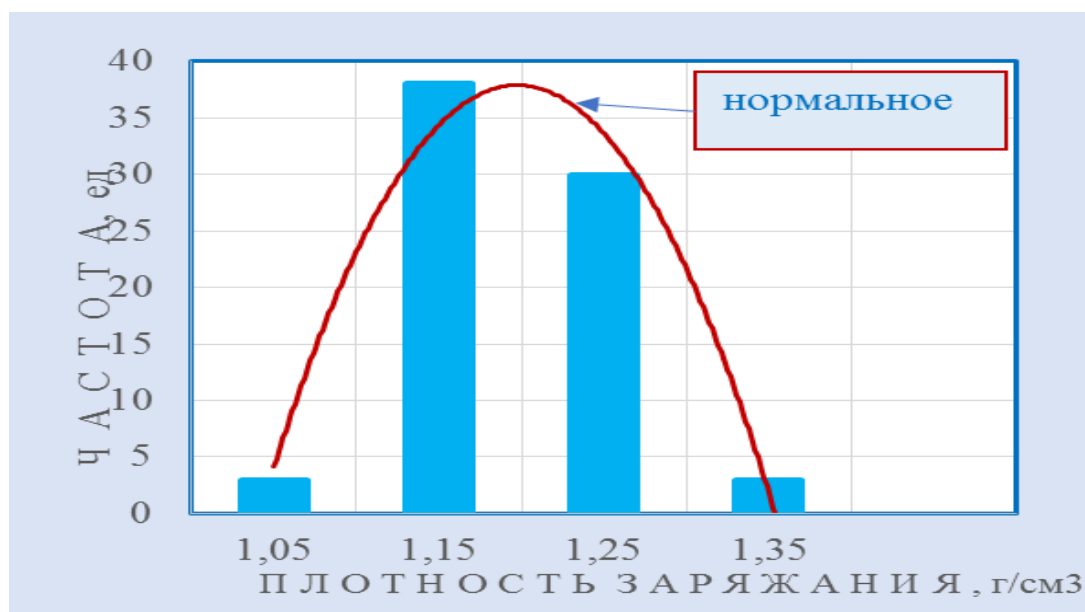


Рисунок 4.15 – Распределение результатов замеров плотности заряжания

Из группировки показателей плотности Порэмита 1А видно, что 8,1% заряжаемых скважин выходят за пределы ТУ производства ЭВВ, что является недопустимым при производстве качественной подготовки горной массы к выемке (рисунок 4.15).

По высоте столба скважинного заряда плотность ЭВВ варьируется. В верхней части скважины плотность заряда будет минимальной, а в нижней (донной) части максимальной. Если при изготовлении эмульсионной матрицы снижение плотности может вызвать риск непредвиденного взрыва, то при зарядании скважин чрезмерное повышение плотности заряда в нижней части, где располагается промежуточный детонатор (боевик), чревато возникновением отказа. Заряжать скважины необходимо эмульсионными ВВ с такой плотностью, при которой в донной части заряда плотность будет ниже критической величины. Так, при глубине скважины 17 м, не следует заряжать её взрывчатым веществом с расчётной плотностью больше $1,25 \text{ г/см}^3$. При производстве взрывных работ на горнодобывающих предприятиях чаще всего стремятся увеличивать исходную плотность ЭВВ с целью повышения объёмной концентрации энергии, но не всегда учитывают то, что превышение критического диаметра детонации может привести к отказам. Газовые пузырьки, распределённые в эмульсии и выполняющие функцию «горячих точек», сжимаются под воздействием гидростатического давления колонки заряда, приводя к увеличению плотности ЭВВ по мере возрастания глубины скважин. В этой связи необходимая исходная плотность при зарядании скважин зависит от их глубины.

Предложенная методика оперативного определения плотности ЭВВ в процессе изготовления и зарядания скважин вблизи мест их применения используется в период подготовки технологических взрывов для контроля плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов и, как следствие – получения стабильных характеристик при взрывании и выемке.

Мощность взрывчатых веществ является определяющим фактором, но нельзя забывать, что давление, развиваемое при взрыве зарядов ВВ, является функцией от плотности заряжания и скорости детонации заряда. В условиях практического применения ВВ эти факторы требуют особого внимания. Испытания детонационных характеристик ЭВВ производятся в полигонных условиях с привлечением сил и средств ИГД УрО РАН. На рисунке 4.15 приведён образец записи скорости детонации с использованием комплекта измерительно-регистрирующей аппаратуры «VOD Mate» («Instantel» Канада). Величина скорости детонации будет определяться типом и количеством газа, материалом оболочки, его размерами и качеством распределения в эмульсии. Результаты измерений детонационной волны порэмита в сравнении с данными по другим ВВ (тринитротолуол, игданит) приведены в таблице 4.5.

Из таблицы 4.4 следует, что скорость детонации ЭВВ прямо пропорциональна его плотности. Данные таблицы 4.5 свидетельствуют о том, что фактические измеренные параметры взрывной волны порэмитов близки параметрам тротила и превышают характеристики игданита. Теоретическая скорость детонации эмульсионных ПВВ в зависимости от плотности по формуле Чепмена – Жуге приведена в таблице 4.5 [97].

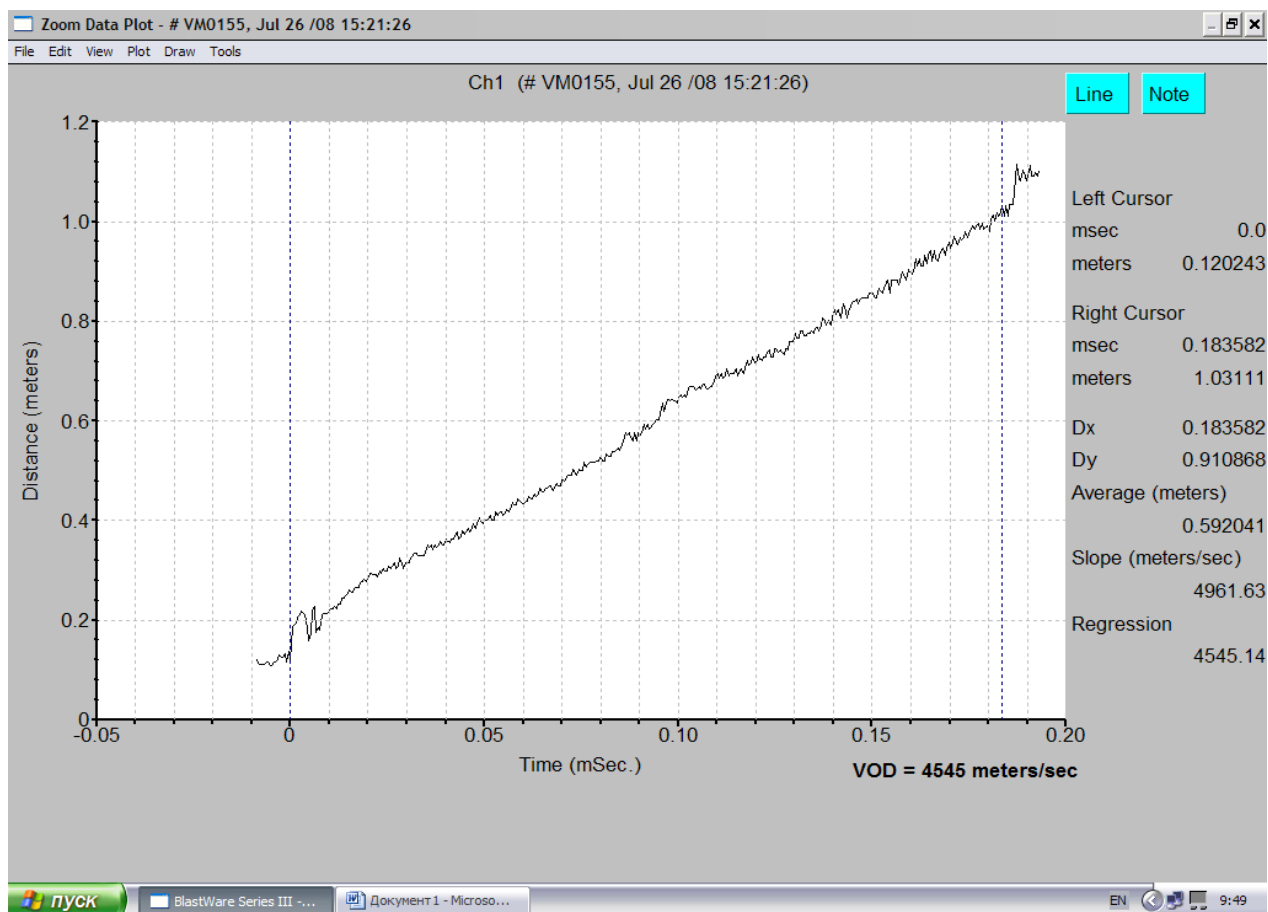


Рисунок 4.16 – Образец записи скорости детонации

Таблица 4.4 – Теоретическая скорость детонации эмульсионных ВВ

Плотность, г/см ³	Скорость. м/с
0,7	4010
0,8	4500
0,9	5090
1,0	5400
1,1	5700
1.2	6120
1,3	4540

Методика оперативного определения плотности ЭВВ в процессе изготовления и заряжания скважин и методика периодических испытаний их детонационных характеристик не являются замещающими друг для друга, а

служат взаимодополнением для полного контроля за производством и применением ЭВВ.

Таблица 4.5 – Измеренные параметры детонационной волны порэмитов

Наименование показателя	Тип ВВ							
	Порэмит	Порэмит М	ТНТ (чешуированный)				Игданит	
Диаметр заряда, мм	70	70	40	60	80	100	70	100
Плотность, г/см ³	1,13	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
Скорость детонации, Д, км/с	5,03	4,81	4,50	4,80	5,00	5,08	2,0	2,52
Массовая скорость, км/с	1,302	1,12	1,27	1,4	1,44	1,50	0,48	0,8
Давление в детонационной волне, тыс. ат.	74 хим. пик 96	63 хим. пик 84	57,2	67,2	72,0	76,3	8,64	18,14
Плотность в детонационной волне, г/см ³	-	-	1,39	1,41	1,40	1,42	1,18	1,32
Ширина зоны химической реакции, мм	1,68	1,68	1,66	1,71	1,66	1,63	5,44	4,97
Показатель политропы	2,93	3,295	2,54	2,43	2,47	2,39	3,16	2,15
Время реакции, сек	0,503	0,502	0,57	0,56	0,52	0,51	3,94	3,36

На основании изложенного сформирована процедура расчёта параметров БВР, в соответствии с которой на первом этапе по величине отскока бойка молотка Шмидта в блоке, подлежащем подготовке взрывом, определяется расчетная величина предела прочности пород при одноосном сжатии и ожидаемый класс дробимости пород, осуществляется расчёт основных параметров БВР: удельного расхода ВВ (4), ЛНС (8). Ключевым параметром является расчетная дробимость пород.

Сетка скважин и масса заряда ВВ определяются в зависимости от установленного класса дробимости и взрываемости пород, принятого Типовым проектом производства взрывных работ, скорректированным по результатам исследования влияния сокращения диаметра, скважин, конструкции скважинного заряда с рекомендуемым рассредоточением его по глубине скважины на выход горной массы фракции +0-100 мм.

Выдерживание плотности заряжения, детонационных характеристик ЭВВ и высоты колонки заряда достигается за счет применения экспресс-методики контроля качества ЭВВ в процессе заряжения непосредственно на подготавливаемом блоке.

Регулирование энергии взрыва обеспечивается снижением скорости детонации за счет изменения рецептуры ЭВВ и добавления в раствор окислителя матрицы порэмита хлорида натрия, что дополнительно обеспечивает снижение переизмельчения горной массы.

Разработанная процедура позволяет проектировать рациональные параметры БВР для достижения заданного качества дробления горных пород.

4.4. Выводы по главе 4

С переходом на использование ЭВВ требуются специфические знания технологических особенностей их применения. Основными факторами, влияющими на результаты взрывного разрушения локальных массивов горных пород, являются: высота уступа, при которой обеспечивается

стабильность и эффективность добычных и транспортных работ; физико-механические свойства горных пород, величина которых значительно варьирует по площади и глубине разрабатываемого месторождения; коэффициент разрыхления каждого типа пород, величину которого необходимо учитывать при выборе схемы коммутации и интервалов замедлений инициируемых зарядов ВВ; степень обводнённости и трещиноватости массива, влияющие на скорость распространения энергии взрыва энергии взрыва и вместимость ЭВВ в 1 пм скважины; взрывчатые вещества, обеспечивающие необходимую степень дробления горных пород для достижения минимальных затрат на подготовку горной массы к выемке и транспортированию; качество обуривания породного массива, размещения и порядка инициирования зарядов ВВ в нем.

1. При исследовании способов контроля и управления свойствами и характеристиками эмульсионных взрывчатых веществ изучены требования к рецептурам ЭВВ и контролю готовой продукции. Показано, что при конструировании рецептуры ВВ в первую очередь необходимо обеспечить характеристики, оказывающие наибольшее влияние на эффективность работы взрыва: плотность заряжения ρ_0 , скорость детонации V_d ; теплота взрыва Q_v ; значение массовой скорости, плотность продуктов детонации (ПД), давление в детонационной волне и др.

2. Проведенный в промышленных условиях уникальный для РФ комплекс испытаний матрицы эмульсии Порэмита 1А, включающий испытание: теплоустойчивости; чувствительности к сильному удару (передача детонации через зазор); воздействия нагревания в ограниченном объёме (испытание по Коенену); пригодности к перевозке в цистерне, дал основания для получения свидетельства Ростехнадзора РФ о соответствии эмульсии, производимой в ПАО «Ураласбест», требованиям ООН;

3. Накопленный при испытаниях опыт дает основания рекомендовать для оценки качества изготавливаемых ЭВВ методику

оперативного определения плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов в период подготовки технологических взрывов, а также методику периодических полигонных испытаний их детонационных характеристик с использованием комплекта измерительно-регистрирующей аппаратуры. Методики не являются замещающими друг для друга, а служат взаимодополнением для полного контроля за производством и применением ЭВВ.

4. Установлено что при выпуске одной партии ЭВВ, но отгруженной в разные СЗМ с разными техническими характеристиками, на заряжаемом блоке происходит изменение плотности ЭВВ относительно предыдущих параметров, использование смесительно-зарядной техники меняющимися климатическими изменение которых не всегда может отследить оператор СЗМ. Неконтролируемые отклонения от установленных параметров, как правило, приводили к браку при взрывании блоков.

5. Из группировки показателей плотности Порэмита 1А видно, что на практике 8,1% заряжаемых скважин выходят за пределы ТУ производства ЭВВ, что является недопустимым при производстве качественной подготовки горной массы к выемке.

6. Показано, что в верхней части скважины плотность заряда должна быть максимальной, а в нижней (донной) части - минимальной. Снижение плотности эмульсионной матрицы может вызвать риск непредвиденного взрыва, а чрезмерное повышение плотности заряда в нижней части чревато возникновением отказа. Установлено, что при глубине скважины 17 м, не следует заряжать её взрывчатым веществом с расчётной плотностью больше $1,25 \text{ г/см}^3$. Стремление к увеличению исходной плотности ЭВВ с целью повышения объёмной концентрации энергии может привести к отказам при превышении критического диаметра детонации.

7. Предложенным экспресс-методом определения плотности ЭВВ экспериментально определена реальная величина исходной плотности

Порэмита 1А в скважинных зарядах и пределы её варьирования в процессе заряжания скважин на локальном блоке. Выявлены причины варьирования высоты колонки скважинных зарядов при подготовке технологических взрывов, включающие: отклонения параметров скважин от проектных показателей при обуивании локальных массивов - более 50% от общего количества; варьирование исходной плотности порэмита 1А в процессе заряжания скважин СЗМ в диапазоне от 1,02 до 1,32 г/см³; влияние человеческого фактора, как при обуивании локальных массивов, так и при заряжании скважин взрывчатыми веществами.

8. Сформирована процедура расчёта параметров БВР, позволяющая проектировать рациональные параметры БВР для достижения заданного качества дробления горных пород

9. Для сокращения затрат на подготовку горной массы к выемке на основании исследованной закономерности изменения скорости детонации от исходной плотности заряжания скважин рекомендуется устранение колебаний плотности ЭВВ при изготовлении взрывчатой смеси СЗМ в процессе заряжания скважин для обеспечения стабильной высоты колонки заряда и равномерного дробления верхней части уступа.

10. Требуется проводить работу среди персонала бурового и взрывного участков для исключения отклонений от проектных параметров при бурении и заряжании скважин, а также продолжать совершенствование методики проектирования технологических взрывов, определяющих величину затрат на буровзрывные работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований в диссертационной работе представлено решение актуальной научно-практической задачи разработки методики обоснования параметров взрывного разрушения пород при установленных требованиях к качеству дробления массива, учитывающей совокупность технологических требований к процессу бурения и заряжания

скважин, а также способов контроля характеристик эмульсионных взрывчатых веществ при проектировании и подготовке технологических взрывов на асбестовых карьерах.

Основные научные результаты работы заключаются в следующем:

1. Показано, что при увеличении производства и сбыта щебня различных марок из перидотитов, габбро и диоритов требует изменения подхода к проектированию и производству буровзрывных работ. Установлено, что высокое качество взрывания, тем не менее допускает возможность переизмельчения взрывающей горной массы, что ведет к потерям полезного материала как при производстве щебня, так при обогащении руд.

2. Получены зависимости, характеризующие расчетную взаимосвязь дробимости пород и размеров ЛНС от величины отскока бойка молотка Шмидта (H_r). Показано, что общий тренд изменения дробимости и величины ЛНС от H_r сохраняется для различных литотипов: габбро, празиниты, магматические породы и серпентиниты, что свидетельствует об эффективности предложенного экспресс-метода для оценки указанных параметров.

3. Апробированы предложенные способы управления энергией взрывного разрушения скальных массивов горных пород зарядами ЭВВ с добавлением ингибиторов хризотилового волокна и хлорида натрия (NaCl). Результаты исследований свидетельствуют об эффективности применения отходов хризотила с предварительным их смачиванием, то есть снижением их адгезионных свойств. Установлено, что при добавлении 11% хлорида натрия в раствор окислителя матрицы порэмита взамен части аммиачной селитры, скорость детонации снижается с 4519 до 4115 м/с, то есть на 10%.

4. При проведении опытно-промышленных взрывов установлено, что применительно к специфическим условиям разработки горной массы

асбестовых месторождений, предназначенной для производства щебня, сокращение доли пород некондиционной фракции (0-100 мм) с 55,9% до 38% достигается комплексным управлением энергией взрывного разрушения с одновременным уменьшением диаметра скважин с 244,5 мм до 215,9 мм и применением рассредоточенных скважинных зарядов с использованием заглушек рекомендованной конструкции. Дальнейшее сокращение доли мелких фракций до уровня 23,3-31,3% обеспечивается введением в раствор ЭВВ 11% поваренной соли.

5. Выявлено низкое качество подготовки блоков к взрыванию, связанное с отклонениями сетки скважин и их глубины (недобуривание или перебуривание) по сравнению с проектными значениями. Наличие разных партий изготовленных ЭВВ, разная плотность заряжения (в пределах допуска ТУ), разные марки смесительно-зарядного оборудования, отклонения по глубине и взаимному расположению скважин, что провоцирует непрогнозируемое качество взрыва.

6. Апробирована технология разрушения обводнённых массивов рассредоточенными скважинными зарядами с использованием предложенных и запатентованных специальных пневматических затворов и заглушек для технологических перебуриков. Показано, что при использовании рассредоточенных зарядов достигнутый фактический расход ЭВВ при их применении (от 15 до 70% от общего числа взорванных скважин) в сравнении с расчётным в 1,15 – 1,4 раза меньше, чем при сплошных зарядах. Экономия взрывчатых веществ в период опытно-промышленных испытаний составила 160 тонн (в денежном выражении 2,5 млн руб.) при выдерживании необходимой степени дробления пород.

7. Предложенным экспресс-методом определения плотности ЭВВ на базе созданной передвижной лаборатории экспериментально определена реальная величина исходной плотности Порэмита 1А в скважинных зарядах и пределы её варьирования в процессе заряжения скважин на локальном

блоке. Выявлены причины разброса высоты колонки скважинных зарядов при подготовке технологических взрывов

8. Проведенный в промышленных условиях уникальный для РФ комплекс испытаний матрицы эмульсии Порэмита 1А, включающий определение: теплоустойчивости; чувствительности к сильному удару (передача детонации через зазор); воздействия нагревания в ограниченном объёме (испытание по Кюенену); пригодности к перевозке в цистерне, дал основания для получения свидетельства Ростехнадзора РФ о соответствии эмульсии, производимой в ПАО «Ураласбест», требованиям ООН.

9. Накопленный при указанных испытаниях опыт дает основания рекомендовать для оценки качества изготавливаемых ЭВВ методику оперативного определения плотности ЭВВ и высоты колонки скважинных зарядов в период подготовки технологических взрывов, а также методику периодических полигонных испытаний их детонационных характеристик с использованием комплекта измерительно-регистрирующей аппаратуры. Методики не являются замещающими друг для друга, а служат взаимодополнением для полного контроля за производством и применением ЭВВ.

10. Сформирована процедура расчёта параметров БВР, позволяющая проектировать рациональные параметры БВР для достижения заданного качества дробления горных пород

11. Для сокращения затрат на подготовку горной массы к выемке на основании установленного изменения скорости детонации от исходной плотности заряжания скважин рекомендуется устранение колебаний плотности ЭВВ при изготовлении взрывчатой смеси СЗМ в процессе заряжания скважин для обеспечения стабильной высоты колонки заряда и равномерного дробления верхней части уступа.

Годовой экономический эффект от реализации предложенных организационно-технических решений для повышения эффективности

буровзрывного комплекса составил от 110 - 550 млн руб. Совершенствование практической части реализации методики проектирования технологических взрывов тесно связано с управлением работой персонала бурового и взрывного участков для исключения отклонений от проектных параметров при бурении и зарядании скважин.

Таблица 4.6 Результаты комплексного решения снижения переизмельчения горной массы

Выход щебня по годам на ДСК 2, %													
Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Среднее
2013	42,9	43,7	44,5	44,9	25,2	23,1	44	38,7	50,8	44,2	36,9	49,8	40,7
2014	22,6	23,7	45,2	44,9	26,4	25,3	45,3	21,6	21,2	33,1	46,6	48,9	33,7
2015	27,6	25,4	23,4	48,3	46,9	26,12	32,8	50,8	50,3	51,8	52,6	50,9	40,6
2016	43,6	47	47,6	46	47,9	47,8	46,2	48,1	45	41,1	48,6	44,7	46,1
2017	42,7	27,8	49,7	32,8	55,3	45,5	29,8	47,2	51,3	46,9	52,8	51,3	44,4
2018	49,1	56,11	61,3	56,4	56,2	51,2	57,8	61	59,8	62,4	61,3	51,6	57,0
2019	56,1	56,4	60,3	59,8	61,9	56,1	59,9	56,8	62,7	60,9	57,3	68,7	59,7
2020	64,5	59,4	60,3	61	61,5	59	49,3	55,6	66,7	57,7	66,7	49,6	59,3



Рисунок 4.17 Выход щебня по годам

Основные результаты исследований рекомендуются в качестве методической базы для совершенствования методики обоснования параметров взрывного разрушения пород при использовании эмульсионных ВВ в технологических взрывах на горных предприятиях, в организациях-производителях СЗМ, а также в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных с освоением технологий буровзрывных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория и практика открытых разработок. Под общ. ред. акад. Н.В. Мельникова. М., Недра, 1973.
2. Демидюк Г.П. Развитие взрывных работ на карьерах. – Будущее открытых горных разработок. М.: Наука, 1972, с. 46-57.
3. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом / Б. Н. Кутузов. -3-е изд. перераб. и доп.- М.: Издательство МГИ, 1992. - 516 с.
4. Механика и разрушение горных пород. Выпуск 1. Под редакцией М.Ф. Друкованого. – М: Недра, 1969. 295 с.
5. Яковлев В.Л. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации глубоких карьеров/ В.Л. Яковлев, А.М. Галкин, Р.М. Гусев; под ред. В.Л. Яковлева//Екатеринбург: УрО РАН. – 2014, - 105с.
6. Яковлев В.Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложно структурных месторождений на основе исследования переходных процессов// Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр севера: Горный информационно - аналитический бюллетень (научно-технический журнал), - 2015 – (специальный выпуск №30), - 2015. – 22-35с.
7. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / В. Н. Мосинец – М.: Недра, 1976, 271. с.
8. Ханукаев А. Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. /А.Н. Ханукаев / - М., «Недра», 1974. 224 с.
9. Каплунов Д.Р. О влиянии структурных особенностей массива на результаты дробления взрывом// Д.Р. Каплунов, А.Н. Ионов / – В кн.: Взрывное дело, № 53/10, 1963, с. 17-23.
10. Ефремов Э.И. Подготовка горной массы на карьерах. М., Недра, 1980.

11. Соколов Ю.А. Изучение вещественного состава руд Баженовского месторождения хризотил-асбеста и вывод зависимости взрываемости их от минералого-петрографического состава (Отчёт) СГИ. Свердловск, 1978.
12. **Русских А. П.** Состояние и развитие взрывного комплекса ОАО "Ураласбест"/А.П. Русских, Б. В. Пахряев, А. А. Котяшев, В. Г. Шеменев // Уральское горное обозрение: 11 (XXXII) горнопромышленный съезд: Электронное издание - журнал/ Горнопромышленная ассоциация Урала. Институт горного дела УрО РАН. - Екатеринбург, 2011. - С. 94 - 106.
13. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества. / Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И // – М.: Недра, 1982. – 327 с.
14. Котяшев А.А. Современные технические средства для приготовления эмульсионных взрывчатых смесей в процессе зарядания скважин на карьерах Урала. / А. А. Котяшев, А. С. Маторин, П. В. Меньшиков // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов VI международной научно-технической конференции. Чтения памяти В. Р. Кубачека.— Екатеринбург; Уральский государственный горный университет. 2008. – С. 114 – 121.
15. Котяшев А.А. Опыт эксплуатации смесительно-зарядных машин в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» / А. А. Котяшев, Б. В. Пахряев, **А. П. Русских**// Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIV международной научно-технической конференции. Чтения памяти В. Р. Кубачека – Екатеринбург; Уральский государственный горный университет. 2016. – С. 72
16. Открытые горные работы : труды Американского института горных инженеров, инженеров-металлургов и нефтяников. - сокр. пер. с англ. - Москва : Недра, 1971. - 456 с.
17. Ефремов Э.И., Дурнев В.Ф. К вопросу о выборе направления отбойки горных пород в зависимости от их структурных особенностей. – В кн Механика и разрушение горных пород, вып. 3, 1975, с. 91-94.

18. Суханов А.Ф. Разрушение горных пород взрывом. – Вопросы теории разрушения горных пород действием взрыва. М.: изд-во АН СССР, 1958. с. 7-19.
19. Г.И. Покровский. О расчётах параметров ударной волны взрыва в различных средах. – Новосибирск: изд-во СО АН СССР, 1960, вып. 3, с. 3-13.
20. Энергия волн напряжения при разрушении пород взрывом. М.: Госгортехиздат, 1962. 224 с.
21. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжения при разрушении пород взрывом. М.: Госгортехиздат, 1962. 224 с.
22. Баранов Е.Г., Мосинец В.Н. Короткозамедленное взрывание на открытых горных работах в СССР и за рубежом. Фрунзе: ИНТИ, 1960. 11 с.].
23. В.Н. Мосинец И.А. Тангаев. Некоторые особенности процесса разрушения горных пород при взрывании. – Проблема разрушения горных пород взрывом. М.: Недра, 1967, с. 109-126.
24. Кутузов Б.Н. Пути решения проблемы получения заданного дробления горных пород при взрывании –Механизм разрушения горных пород взрывом. Киев: Наукова думка, 1971. с. 21-27.
25. Действие взрыва заряда в трещиноватой среде / Б.Н. Кутузов, Лин Дюй – Горный журнал, 1962, № 9, с. 41-43.
26. Барон Л.И., Личели Г.П. К вопросу регулирования кусковатости при отбойке трещиноватых пород скважинными зарядами. – В кн.: Взрывное дело, № 47/4, 1961, с. 178-184.
27. Друкованный М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах / М. Ф. Друкованный. – Москва : Недра, 1973. – 415 с.
28. Дружинин Н.К. Математическая статистика в экономике. М., 1971.- 178 с.
29. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М., 1973.- 195 с.
30. Четыркин

Е.М. Статистические методы прогнозирования. М., «Стати-стика», 1975. - 184с.

31. Кулиш С.А. Математические методы в планировании и управлении горным производством./ С.А. Кулиш, К.Д.Науменко и др.// - Изд. 2, перераб. и доп. М., «Недра» 1978, - 312с.

32. Мосинец В.Н. Энергетические и корреляционные связи процесса разрушения пород взрывом / В. Н. Мосинец ; АН Киргиз. ССР. - Фрунзе : Изд - во АН Киргиз. ССР, 1965. - 233 с.

33. Котяшев А.А. Исследование свойств горных пород в локальных массивах на карьерах для обоснования рациональных параметров БВР / А.А. Котяшев, А. С. Маторин, **А.П. Русских**, Б.В. Пахряев // Технология и безопасность взрывных работ : материалы научно-техн. семинаров 24 апр., 11 окт. 2012 г. / ИГД УрО РАН. - 2013. - С. 68-82.

34. Котяшев А.А. Динамика условий и показателей эксплуатации взрывного комплекса / А.А. Котяшев, **А.П. Русских** //Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сб. трудов XIII Междунар. науч-но-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека / УГГУ. Екатеринбург, 2015. - С. 412-417.

35. Котяшев А. А. Динамика структуры взорванной горной массы на карьерах по добыче хризолит-асбеста/ А. А. Котяшев, **А. П. Русских** //Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: XIV Междунар. научно-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека: сб. трудов. - Екатеринбург: УГГУ. 2016. С.138 -144.

36. Котяшев А.А. Изучение и оценка структурных изменений при дезинтеграции скальных массивов в динамике развития карьеров/ А.А. Котяшев, М.В. Корнилков, **А.П. Русских** // Известия вузов. Горный журнал. - 2017. - № 7. – С. 17-24.

37. Васильев М.В. Влияние возрастающей глубины карьеров на эффективность горного производства / М В Васильев // Горный журнал. -1983. - № 2. – С 29 – 33.

38. Котяшев А.А. Закономерности изменения условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на открытых разработках/ А.А. Котяшев // Известия вузов. Горный журнал. – 2018. - № 8. – С. 34-40.
39. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом / Б. Н. Кутузов - 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Издательство МГИ, 1992. - 516 с.
40. Котяшев А.А. Основные требования к комплексам механизации для подготовки массовых взрывов на карьерах / А. А. Котяшев, А. С. Маторин, В. А. Синицын // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сб. трудов V Международ. научно- техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека. - Екатеринбург : УГГУ, 2007. - С. 101-105.
41. Котяшев А.А. Оценка влияния качества подготовки горной массы на производительность погрузочно-транспортных комплексов / А.А. Котяшев, **А.П. Русских**, Б.В. Пахряев // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: науч.-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека. - Екатеринбург: УГГУ, 2017. - С. 448-453.
43. Котяшев А.А. Статистическая оценка влияния горно-геологических факторов на показатели эксплуатации погрузочно-транспортных комплексов на открытых горных разработках./ А.А. Котяшев, **А.П. Русских**, Б.В.Пахряев// Технология и безопасность взрывных работ. – Екатеринбург, 2018.
44. Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990 -2015 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. 2015. – 361.
45. Бондарев В.И. Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании для строительных целей / В. И. Бондарев. М.: Стройиздат, 1974. 141 с.
46. Воронцов И.В. Многоволновая сейсмометрия при решении горно-геологических задач. – Екатеринбург: УрО РАН, 1988. – 112 с.
47. Гуревич И.И. Сейсмическая разведка / И. И. Гуревич, Г.Н. Боганик. – Москва : Недра. – 1980. – 551 с.

48. Сенин Л.Н. Сейсморегистрирующий канал / Л. Н. Сенин; Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ин-т геофизики. - Екатеринбург : УрО РАН, 2004 (Тип. УрО РАН). - 186 с.
49. Караев Н. А. Сейсмическое просвечивание локальных неоднородностей. Разведочная геофизика (обзор) / Н. А. Караев, В. В. Константинов, В. А. Корнеев. – М.: ВИЭМС, 1987. – 34 с.
50. Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов / В. С. Ямщиков. - М.: Недра, 1982. - 296 с.
51. Сенин Л.Н. Сейсморегистрирующий канал / Л. Н. Сенин; Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ин-т геофизики. - Екатеринбург: УрО РАН, 2004 (Тип. УрО РАН). - 186 с.
52. Сейсморазведка: справочник геофизика / Т. Б. Яновская и др.; под ред. И. И. Гурвича. – М.: Недра, 1981. – 464 с.
53. Воронцов И. В. Оптимизация параметров БВР на открытых разработках ГМК «Норильский никель» на основе определения свойств пород в массиве сейсмометрическим методом / И. В. Воронцов, А. А Котяшев, А. С. Маторин, В. Г. Шеменев // Изв. вузов. Горный журнал. - 2008. - № 8. С.94 – 106.
54. Котяшев А.А. Исследование свойств горных пород в естественном залегании для разработки рациональных параметров БВР / А. А. Котяшев, А. С. Маторин, В. А. Синицын, В.Г. Шеменёв // Сборник научных трудов.- № 4. - Екатеринбург, 2008, С. 262 – 267.
55. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – 2-е изд., переработанное и дополненное - М., Недра, 1982. 327 с.
56. Кук М. А. Наука о промышленных ВВ – М.: Недра, 1980. – 453 с.
57. Перечень взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к постоянному применению в Российской Федерации/ Госгортехнадзор России. – М., 2002. – 52 с.
58. Жученко Е. И. Гранулированные взрывчатые смеси и их применение / Е. И. Жученко. – М.: НТЦ ТП – ИГД А. А. Скочинского, 2002. – 96 с.

59. Шведов К.К. Некоторые вопросы современного состояния развития промышленных ВВ и методов их контроля/ /ФТПРПИ. - 1990. - № 4. – С.93-101.
- 60.Субботин А.И. Основные проблемы взрывного дела и пути их решения. Концепция повышения безопасности и эффективности применения взрывчатых материалов промышленного назначения в Российской Федерации // Безопасность труда в промышленности.- 2002.- № 7. – С.50-54.
61. Кантор В.Х., Кутузов Б.Н. Новое поколение гранулированных промышленных ВВ на основе пористой АС //Горный журнал.- 2003. – № 6.- С. 27- 34.
62. Жученко Е.И. Научные, технические и экономические предпосылки совершенствования взрывных работ на основе оптимизации рецептур и физико-технических параметров эмульсионных ВВ// Международная конференция по буровзрывным работам, Москва, 27-28 мая 1997, 3: Сборник докладов. – М., 1997. - С.68-79.
63. Викторов С.Д. Разработка и применение простейших взрывчатых веществ. - М.: ИПКОН РАН, 1996. -156 с.
64. Викторов С. Д. Анализ методов управления процессом разрушения горных пород взрывом / С. Д. Викторов, Н. Н. Казаков В. М. Закалинский //Горный журнал. – 1995. – № 7. – С. 46 – 47.
65. Будько А. В. Совершенствование скважинной отбойки / А. В. Будько и др. - М.: Недра, 1981. – 199 с.
66. Жученко Е. И. Технология производства и применения эмульсионных взрывчатых веществ, предназначенных для механизированного заряжания скважин на открытых горных работах / Е. И Жученко, В. Б. Иоффе. – М.: НТЦ ТП – ИГД А. А. Скочинского, 2002. – 63 с.
67. Кузнецов В.М., Шацкевич А.Ф. О работоспособности взрывчатых веществ // ФГиВ. - 1978. - № 2. -С.120 -125..

68. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения. - М.: Из-во АН СССР, 1960. - 122 с.

69. Котяшев А.А. Исследование свойств эмульсионных ВВ при изготовлении их в смесительно-зарядных машинах в процессе заряжания скважин в условиях карьеров ОАО "Ураласбест" / А.А. Котяшев, А. П. **Русских**, Б. В. Пахряев // Технология и безопасность взрывных работ : материалы научно-техн. конф. "Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле", 2011 г. - Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2012. - С. 142-154.

71. **Русских А.П.** Экспериментальные исследования свойств эмульсионных ВВ, изготовленных при заряжании скважин на карьерах./ А. П. Русских, А.А. Котяшев // Известия вузов. Горный журнал. - 2012. - № 7. – С. 60-66.

72. Котяшев А.А. Оценка свойств эмульсионных ВВ в процессе изготовления и заряжания скважин на карьерах ОАО «Ураласбест»/ А.А. Котяшев, М.В. Корнилков, А. П. **Русских**, Б. В. Пахряев // Известия вузов. Горный журнал. - 2013. - № 5. - С. 56-61.

73. Котяшев А.А. Отечественные смесительно-зарядные машины для приготовления эмульсионных ВВ в процессе заряжания / А. А. Котяшев, А. С. Маторин, В. С. Соколов, В. А. Сеницын // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник докладов VII Международной научно-технической конференции. Чтения памяти В. Р. Кубачека, 23 - 24 апр. 2009 г. / УГГУ. – Екатеринбург, 2009. - С. 101-103.

74. Котяшев А.А. Современные технические средства для приготовления эмульсионных взрывчатых смесей в процессе заряжания скважин на карьерах Урала / А. А. Котяшев, А. С. Маторин, П. В. Меньшиков, В. А. Сеницын. - Текст : непосредственный // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов VI Международ. научно-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека. - Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2008. - С. 114-121.

75. Котяшев А. А. Опыт эксплуатации смесительно-зарядных машин в условиях карьеров ОАО «Ураластест»/ А. А. Котяшев, Б. В. Пахряев, **А. П. Русских** //Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: XIV Междунар. научно-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека: сб. трудов. - Екатеринбург: УГГУ. 2016. С 72-77.
76. Котяшев А.А. Практика применения эмульсионных взрывчатых веществ в условиях карьеров ОАО Ураласбест / А. А. Котяшев, Б. В. Пахряев, **А. П. Русских** // Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-техн. конф., 02-03.12.2015; отв. ред. Г. П. Берсенов / ИГД УрО РАН. - Екатеринбург : АМБ, 2016. - С. 87-93.
77. Котяшев А. А. Оперативное определение свойств и характеристик ЭВВ вблизи мест их применения/ А. А. Котяшев, В. Г. Шеменев, **А. П. Русских**, Б. В. Пахряев //Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-техн. конф., 2014 / ИГД УрО РАН, НП Взрывники Урала, Уральское управление Ростехнадзор. - Екатеринбург: АМБ, 2015. - С. 31 - 37.
78. Ефремов Э. И. Основы теории и методы взрывного дробления горных пород / Э. И. Ефремов, В. С.Кравцов, Н. И. Мячина. – Киев: Наукова думка, 1979. – 224
79. Котяшев А.А. Методические основы определения взрывчатых характеристик водосодержащих конденсированных систем / А.А. Котяшев, А.С. Маторин, В.Г. Шеменёв //Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. Екатеринбург, ИГД УрО РАН, 2004, С. 259-270.
80. Котяшев А. А. Испытания технологии приготовления и заряжания скважин гранэмитом И-50/ А. А. Котяшев, А. С.Маторин, Попов В. Ю., Шеменев В. Г. // Проблемы геотехнологии и недроведения(Мельниковские чтения): Докл. международ. конф.: Т.1.- Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1998. – С. 257- 263.

81. Котяшев А. А. Промышленные испытания и отработка технологии приготовления и заряжания скважин гранэмитом И-50/ А. А. Котяшев, А. С. Маторин, В. Ю. Попов и др // Горный журнал. – 1998 - №6. – С.33-36..
82. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 263 с.
83. Шведов К.К., Дремин А.Н. О параметрах детонации промышленных ВВ и их сравнительной оценке // Взрывное дело. - М.: Недра, 1976. - №76/33. - С. 137-150.
84. Взрывные явления. Оценка и последствия: Пер. с англ.: В 2-х кн. Кн.1 / Бейкер У., Кокс П., Узстайн П. и др.; Под. ред. Я.Б. Зельдовича., Б.Е. Гельфанда. - М.: Мир, 1986. – С.112.
85. Физика взрыва /Ф.А.Баум, Л. П.Орленко, К. П. Станюкович и др./ Под ред. К. П. Станюкович. - М.: Наука, 1975. – 704 с.
86. Ракишев Б.Р., Такабеев М.К. Численный расчет механических параметров асимметрического взрыва // Вестник АН КазССР. - 1986. - №6. - С. 54-58.
87. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 263 с.
88. Оуэн Д.Б. Сборник статистических таблиц. - М.: ВЦ АН СССР, 1973. - 586 с.
89. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 263 с.
90. Мельников Н.В. Энергия взрыва и конструкция заряда./ Н.В. Мельников, Л. Н. Марченко. М.: Недра, 1964. – 146 с.
91. Герасименко, Н.Н. Исследование возможности использования хризотилового волокна как наноматериала в виде нанотрубок [Электронный ресурс] / Н.Н. Герасименко, К.К. Джаманбалин, Н.А. Медетов. – Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: http://e-lib.kazntu.kz/sites/default/files/articles/01_gerasimenko_2008_5.pdf, свободный.
92. Баженовское месторождение хризотил-асбеста [Текст] / ред. К.К. Золоев, Б.А. Попов. – Москва: Недра, 1985. – 271 с.93.

93. Колганов, Е.В. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества [Текст] / Е.В. Колганов, В.А. Соснин. 1-я книга (Составы и свойства). – Дзержинск Нижегородской обл.: издательство ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 582 с.
94. Глебов А.В., Котяшев А.А., Шеменёв В.Г., **Русских А.П.**, Пахряев Б.В. Повышение эффективности взрывного комплекса в ОАО «Ураласбест» // Горный журнал. – 2012. – №1. – С. 72-74.
95. Котяшев А.А. Динамика условий и показателей взрывного комплекса / А. А. Котяшев, **А. П. Русских** // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XIII Междунар. научно-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека / УГГУ. - Екатеринбург, 2015. - С. 412-417.
96. Садыков С.И., Фомин В.В., Ершов Р.В., Хажиев В.А. Функционал работников системы обеспечения работоспособности горного оборудования // Уголь. – 2016. – №1. – С. 40-41.
97. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 12 Международной научной школы молодых учёных и специалистов. 23-27 ноября 2015 г. Москва: ИПКОН РАН, 2015 г.
97. Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. Книга 1(составы и свойства) // - Дзержинск Нижегородской области, издательство ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с., 151 рис., 218 табл.
98. Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых / И. А. Тангаев. - М. : Недра, 1986. - 230 с.
99. **Русских А.П.** Исследование дробимости и взрываемости горных пород, разрабатываемых на карьере ПАО «Ураласбест» // Сборник Взрывное дело, - 2021. – 130/87. Теория и практика взрывного дела. – С. 63- 78.

100. Трубецкой К.Н., В.А. Чантурия, Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльников
Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального
сырья /- М. : Наука, 2010. - 440 с.
101. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород / В.В.
Ржевский; АН СССР, Сектор физ.-техн. горных проблем Института физики
Земли им. О.Ю. Шмидта. - Москва : Наука, 1975. - 212 с.
102. Шемякин Е. И. Динамические задачи теории упругости и пластичности:
Курс лекций. Новосибирск: НГУ, 1968. 337 с.; 2-е изд. М.: ИГД им.
А. А. Скочинского, 2007. 206 с.
103. Садовский М.А., Адушкин В.В., Спивак А.А. О размере зон
необратимого деформирования при взрыве в блочной среде // Садовский
М.А. Избранные труды. – М : Наука, 2004. – С. 109-115.
104. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы. /
Гананольский М.Н., Барон В.Л., Белин В.Л. Взрывное дело. – М :
Издательство Московского государственного горного университета, 2009. –
С. 119.
105. **Русских А.П.** О процедуре расчёта параметров буровзрывных работ,
основанных на экспресс оценке параметров дробимости пород массива/ А.П.
Русских, С.В. Корнилков, А.Н. Авдеев, Т.Ф. Харисов, Известия Тульского
государственного университета Науки о Земле, 2023. №4. 495 – 504.
106. **Русских А.П.** Studying physical and mechanical properties of rocks to carry
out an express assessment of crushability parameters in the conditions of chrysotile
asbestos rock mass / Русских А.П., Корнилков С.В., Авдеев А.Н., Харисов Т.Ф.
Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. №5. С. 9-19.
107. Барон Л. И. Экспериментальные исследования процессов разрушения
горных пород ударом / Л. И. Барон, Г. М. Веселов, Ю. Г. Коняшин. – М.: Изд-
во АН СССР, 1962. – 219 с.

108. Барон Л. И. Влияние формы ударника на импульсы напряжений и эффективность разрушения горной породы / Л. И. Барон, Ю. Г. Коняшин, А. В. Кузнецов, В. М. Курбатов // Шахт. стр-во. – 1969. – № 8. – С. 8 – 10.
109. Латышев О. Г. Разрушение горных пород. М.: Теплотехник, 2007. 672 с.
110. Laubscher D.H. Geomechanics classification of jointed rock masses – mining applications / D.H. Laubscher // Transactions of Institute of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Industry. – 1977. - vol. 86. - A1-A8.
111. Aksoy C.O. Review of rock mass rating classification: Historical developments, applications, and restrictions / C.O. Aksoy // Journal of Mining Science. – 2008. - vol. 44. - No 51. - p. 51 – 63.
112. Laubscher D.H. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses / D.H. Laubscher, J. Jakubec // In Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies (eds. W. A. Hustrulid and R. L. Bullock), pp. 475 – 481, Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME, 2001.
113. Панжин А.А. Комплексное геомеханическое обоснование углов заоткоски бортов карьера / А.А. Панжин, Т.Ф. Харисов, О.Д. Харисова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 295-306.
114. Deer DU. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock / DU. Deer, R. Miller // Deformation Curve AFNL-TR. – 1966. p. 65–116.
115. Wang M. A new empirical formula for evaluating uniaxial compressive strength using the Schmidt hammer test / M. Wang, W. Wan // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 123. – 2019. p. 1-11
116. Xu S. Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock / S. Xu, P. Grasso, A. Mahtab // 6 Th International IAEG Congress. Rotterdam: Balkema; – 1990. – p. 511–519.
117. Singh R. The application of strength and deformation index testing to the stability assessment of coal measures excavations / R. Singh, F. Hassani, P.

- Elkington // The 24 Th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS). American Rock Mechanics Association; 1983. p. 63–67.
118. Armaghani DJ. Prediction of the strength and elasticity modulus of granite through an expert artificial neural network / DJ. Armaghani, ET. Mohamad, E. Momeni, M. Monjezi, MS. Narayanasamy // Arab J Geosci. – 2016. – 9:48.
119. Liang M. Rock strength assessment based on regression tree technique / M. Liang, ET. Mohamad, RS. Faradonbeh, DJ. Armaghani, S. Ghoraba. // Eng Comput. – 2016. – 32. p. 343–354.
120. Hebib R. Estimation of uniaxial compressive strength of North Algeria sedimentary rocks using density, porosity, and Schmidt hardness / R. Hebib, D. Belhai, B. Alloul // Arab J Geosci. – 2017. – 10: p. 383.
121. Karaman K. A comparative study of Schmidt hammer test methods for estimating the uniaxial compressive strength of rocks / K. Karaman, A. Kesimal // Bull Eng Geol Environ. – 2015. – 74: p. 507–520.
122. Yagiz S. Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer / S. Yagiz // Bull Eng Geol Environ. – 2009. – 68(1): p. 55–63.
123. Yasar E. Estimation of rock physicomechanical properties using hardness methods / E. Yasar, Y. Erdogan // Eng Geol. – 2004. – 71(3): p. 281–288.
124. Харисов Т.Ф. Оценка предела прочности серпентинитов на сжатие с использованием регрессионного анализа // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 45-53.
125. Гергарт Ю.А. Обзор методов диагностики прочностных свойств горных пород при проходке транспортных тоннелей / Ю.А. Гергарт // Научное обозрение. – 2013. – № 11. – С. 65-68.
126. Прокопов А.Ю. Апробация и оценка точности неразрушающего экспресс-метода определения прочностных свойств породного массива в условиях реконструкции Рокского тоннеля / А.Ю. Прокопов, Ю.А. Гергарт //

Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 101-107.

127. Корнеев В.В., Гареев А.Ф., Васютин С.В., Райх В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации – М.: Изд-во Нолидж, 2001. – 496 с.

128. Candida F. Genetic representation and genetic neutrality in gene expression programming // Advances in complex systems. 2002. Vol. 5, № 4, С. 389-408.

129. Behniaa D., Behniab M., Shahriar K., Goshtasbid K. A new predictive model for rock strength parameters utilizing GEP method // Procedia Engineering. 2017. Vol. 191, С. 591 – 599.

130. Ozbek A., Unsal M., Dikec A. Estimating uniaxial compressive strength of rocks using genetic expression programming // Journal of rock mechanics and geotechnical engineering. 2013. № 5, С. 325-329.

131. Латышев О.Г. Разрушение горных пород. – М.: Теплотехник, 2007. – 672 с.

Патенты (соавторство)

1. Патент на полезную модель №148326 «Устройство для создания свободных полостей в перебурах взрывных скважин» / Д.Н. Батраков, В.П. Доманов, А.П. Русских, В.В. Саяпин, Н.А. Чистяков. 2014.

2. Патент на полезную модель №162145 «Скважинный затвор» / Д.Н. Батраков, М.В. Корнилков, А.П. Русских, В.В. Саяпин, Н. А. Чистяков, В.П. Доманов, 2016.

3. Патент на изобретение №2799969 «Устройство для рассредоточения взрывчатого вещества», А. И. Басарнов, Д.Н. Батраков, И.Г. Зотов, А.П. Русских, В.В. Саяпин, Н.А. Чистяков. 2023.