

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени. О.А. Байконурова

Кафедра Горное дело

Молодых Андрей Александрович

Повышение эффективности отбойки горных пород на основе использования
зарядов с заданными энергетическими свойствами

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 7М07203 – «Горная инженерия»

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

УДК 622.235.53

На правах рукописи

Молодых Андрей Александрович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

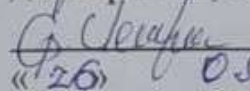
Повышение эффективности отбойки горных пород на основе использования зарядов с заданными энергетическими свойствами

Направление подготовки

7M07203 – «Горная инженерия»

Научный руководитель

доктор PhD, ассоц. профессор

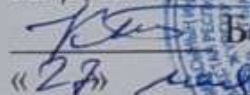
 Исаков Е.Е.
«26» 05 2022г.

Рецензент

канд. техн. наук, зав. лабораторией

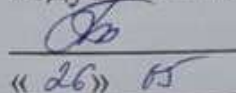
«Комплексное освоение недр»

ИГД им. Д.А. Кунаева

 Бекбергенов Д.К.
«27» 05 2022г.

Нормоконтроль

ведущий инженер

 Мендекинова Д.С.
«26» 05 2022г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
д-р техн. наук, профессор
Молдабаев С.К.
«26» 05 2022г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра Горное дело

Специальность 7М07203 – «Горная инженерия»



ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Молодых Андрей Александрович

Тема: Повышение эффективности отбойки горных пород на основе использования зарядов с заданными энергетическими свойствами

Утверждена приказом ректора университета № 2028-М от «13» 11 2020г.

Срок сдачи законченной диссертации «25» 05 2022г.

Исходные данные к магистерской диссертации: распределение энергии взрыва, обеспечивающее качественное дробление, выход горной массы и ширину ее развала, достигается обоснованием оптимального расстояния между скважинами, интервала замедления взрывания зарядов, диаметра скважин, удельного расхода ВВ, конструкции зарядов в скважинах, а также размещение ВВ по колонке заряда с различными энергетическими свойствами. При взрыве скважинных зарядов условию взрывания и конструкцию заряда принимать как основные параметры, влияющие на условия образования поля напряжений, его форму и характер.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Анализ влияния параметров БВР на формирование параметров волн напряжений в массиве горных пород при производстве взрывов на карьерах;
- б) Исследование влияния энергетических свойств ВВ и параметры буровзрывных работ на распределение волн напряжений в массиве горных пород;
- в) Расчет волнового поля напряжений в массиве горных пород в зависимости от параметров буровзрывных работ;
- г) Исследование влияния зарядов с заданными энергетическими свойствами на качество взрывоподготовки горной массы при уступной отбойке гранитов

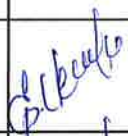
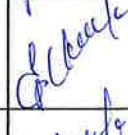
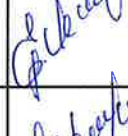
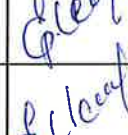
ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Анализ влияния параметров БВР на формирование параметров волн напряжений в массиве горных пород при взрыве		
Исследование влияния энергетических свойств ВВ и параметры буровзрывных работ на распределение волн напряжений в массиве		
Расчет волнового поля напряжений в массиве горных пород в зависимости от параметров буровзрывных работ		
Исследование влияния зарядов с энергетическими свойствами на качество взрывоподготовки		
Технико-экономическая эффективность внедрения результатов исследований		

Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Анализ влияния параметров БВР на формирование параметров волн напряжений в массиве горных пород при взрыве	Е.Е. Искаков, доктор PhD, ассоц. проф.		
Исследование влияния энергетических свойств ВВ и параметры буровзрывных работ на распределение волн напряжений в массиве	Е.Е. Искаков, доктор PhD, ассоц. проф.		
Расчет волнового поля напряжений в массиве горных пород в зависимости от параметров буровзрывных работ	Е.Е. Искаков, доктор PhD, ассоц. проф.		
Исследование влияния зарядов с энергетическими свойствами на качество взрывоподготовки	Е.Е. Искаков, доктор PhD, ассоц. проф.		
Технико-экономическая эффективность внедрения результатов исследований	Е.Е. Искаков, доктор PhD, ассоц. проф.		
Нормоконтролер	Д.С. Мендекинова ведущий инж.	26.05.22	

Научный руководитель  Е.Е. Искаков

Задание принял к исполнению обучающийся  А.А. Молодых

Дата «26» 05 2022г.

д) Технико-экономическая эффективность внедрения результатов исследований;

Перечень графического материала:

а) графики баланса энергии взрыва; б) схемы действия взрыва в твердой среде; в) эпюры распределения энергии взрыва в зависимости от плотности ВВ; г) графики зависимости максимальных амплитуд радиальной составляющей волны напряжения от расстояния при взрыве; д) схемы расположения сетки скважин и т.д.

Рекомендуемая основная литература:

1. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. –Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для ВУЗов. –М.: Издательство «Горная книга», 2007. – 471 с.
2. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. –Ч. 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности: Учебник для ВУЗов. –М.: Издательство «Горная книга», 2008. – 512 с.
3. Ракишев Б.Р. Энергоемкость механического разрушения горных пород. – Алматы: Баспагер, 1998. -210 с.
4. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. –М.: Недра, 1983. –344 с.
5. Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах. –Алма-Ата: Наука, 1983. -240 с.
6. Авдеев Ф.А., Барон В.Л., Гуров Н.В. и др. Нормативный справочник по буровзрывным работам. –М.: Недра, 1986. –511 с.
7. Ерофеев И.Е. Повышение эффективности буровзрывных работ на рудниках. –М.: Недра, 1988. –271 с.

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыста тау-кен массивінің динамикалық жүктелуінің оңтайлы параметрлерін таңдау және энергетикалық қасиеттері көрсетілген рационалды оқтам конструкцияларын пайдалану негізінде таужыныстарын қопарудың тиімділігін арттыру бойынша сұрақтар қарастырылған.

Оқтам ұзындығы бойымен жарылыс қуатының әсерін, кідіру уақытын және оқтамның диаметрін ескере отырып, қопарылатын массивтегі жарылыс қуатының таралуын болжауға мүмкіндік беретін, цилиндрлік симметриядағы оқтамдар үшін кернеу толқындарының параметрлерін есептеудің тиімді әдістемесі негізделген.

Кідіру уақытын, оқтам диаметрі мен конструкциясын ескергендегі гранит массивіндегі кернеу толқындарының параметрлерінің бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлеріне тәуелділіктері дәлелденген.

АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе рассмотрены вопросы по повышению эффективности отбойки горных пород на основе выбора оптимальных параметров динамического нагружения горного массива и использования рациональных конструкций зарядов с заданными энергетическими свойствами.

Обоснована эффективная методика расчета параметров волн напряжений для зарядов цилиндрической симметрии, позволяющая прогнозировать распределение энергии взрыва во взрываемом блоке с учетом влияния энергии взрыва по длине заряда, времени замедления, диаметра заряда при взрыве системы зарядов.

Установлены зависимости параметров волн напряжений в гранитном массиве с параметрами буровзрывных работ - интервалом замедления, диаметром заряда, конструкцией заряда.

ABSTRACT

The dissertation work deals with issues of increasing the efficiency of rock breaking based on the choice of optimal parameters for dynamic loading of the rock mass and the use of rational charge designs with specified energy properties.

An effective method for calculating the parameters of stress waves for charges of cylindrical symmetry is substantiated, which makes it possible to predict the distribution of the explosion energy in an explosive block, taking into account the influence of the explosion energy along the charge length, deceleration time, and charge diameter during the explosion of a system of charges.

The dependences of the parameters of stress waves in a granite massif with the parameters of drilling and blasting operations - deceleration interval, charge diameter, charge design are established.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	11
1	Анализ и оценка влияния параметров БВР на формирование параметров волн напряжений в массиве горных пород при производстве массовых взрывов	13
1.1	Анализ применения энергетического принципа к расчету скважинных зарядов на карьерах	13
1.2	Распространение волн напряжений и зоны разрушения горных пород во времени и в зависимости от условий взрывания	24
2	Исследование влияния энергетических свойств ВВ и параметры буровзрывных работ на распределение волн напряжений в массиве горных пород	29
2.1	Обоснование и выбор начальных условий параметров зарядов ВВ для разработки модели распространения волн напряжений в массиве горных пород	29
2.2	Разработка модели распространения волн напряжений в массиве горных пород при взрыве заряда с различной энергоемкостью	32
2.3	Методика расчета параметров волн напряжений в зависимости от условий взрывания скважинных зарядов с учетом их взаимодействия	35
3	Исследование волнового поля напряжений в массиве горных пород в зависимости от параметров буровзрывных работ	38
3.1	Влияние интервала замедления между зарядами на характер изменения параметров волн напряжений	39
3.2	Волновое поле напряжений при различных параметрах БВР	42
4	Исследование влияния зарядов с заданными энергетическими свойствами на качество взрывоподготовки горной массы при уступной отбойке гранитов в условиях карьера Жельтауского месторождения	45
4.1	Горно-геологические условия месторождения и физико-механические свойства слагающих его пород	45
4.1.1	Горнотехническая характеристика месторождения. Параметры карьера и горнотранспортное оборудование	46
4.2	Существующая технология и параметры буровзрывных работ на гранитом карьере Жельтауского месторождения	47
4.3	Экономическая оценка эффективности работы горного оборудования по результатам полученного распределения грансостава горной массы	53
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	58
ПРИЛОЖЕНИЕ В	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Ё	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	64
ПРИЛОЖЕНИЕ З	65
ПРИЛОЖЕНИЕ И	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Й	67
ПРИЛОЖЕНИЕ К	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	69
ПРИЛОЖЕНИЕ М	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	71

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние научно-технической проблемы, актуальность работы. Повышение эффективности добычи полезных ископаемых в том числе строительных материалов в основном зависит от выбранной технологии и способа взрывных работ.

Многообразие условий и методов организации ведения взрывных работ на карьерах служат причиной того, что несмотря на имеющиеся достижения в разработке эффективных способов отбойки горных пород взрывом, не в полной мере обеспечивается требуемое качество дробления горной массы. Это объясняется тем, что при обосновании параметров буровзрывных работ (БВР), конструкций зарядов взрывчатых веществ (ВВ), систем и интервалов инициирования зарядов не учитывается взаимосвязь энергетических параметров взрывчатых веществ с волновым полем напряжений в разрушаемом массиве горных пород с конкретными физико-механическими свойствами. Поэтому повышение эффективности взрывных работ на основе применения зарядов ВВ с заданными энергетическими характеристиками с учетом параметров поля напряжений в породном массиве, обеспечивающими оптимальную степень дробления горной массы, является на сегодняшний день актуальной задачей.

Несмотря на большой объем выполненных научно-исследовательских работ, до настоящего времени нет универсального научно-обоснованного подхода к определению рациональных параметров БВР, учитывающих развитие волновых процессов в массиве горных пород, параметров волны напряжений при взрыве системы скважинных зарядов.

Цель работы - повышение эффективности работы горнотранспортного оборудования за счет получения заданного распределения грансостава горной массы при взрывной отбойке гранитных горных пород.

Основная идея работы – применение комбинированных зарядов с изменяющимися энергетическими свойствами по длине скважины, которые предоставляют гранулометрический состав отбиваемой горной массы, в свою очередь обеспечивается управлением параметрами волны напряжений в массиве.

Задачами исследования являются:

- анализ и оценка влияния параметров БВР на формирование параметров волн напряжений в массиве горных пород при производстве массовых взрывов на карьерах;
- разработка методики расчета параметров волн напряжений и зон разрушения горных пород во времени в зависимости от условий взрывания в массиве скважинных зарядов с учетом их взаимодействия;
- установление закономерностей влияния энергетических свойств ВВ на формирование параметров волны напряжений;
- разработка конструкции заряда и технологии ведения взрывных работ, обеспечивающих повышение доли энергии ВВ, затрачиваемой на дробление горных пород;

- экономическая оценка эффективности предлагаемой технологии ведения взрывных работ на гранитном карьере месторождения Желтау.

Научная новизна работы заключается:

- в определении зависимости нагружения массива системой зарядов от физико-механических свойств горных пород;
- в установлении закономерности изменения амплитудно-временных характеристик волны напряжений в массиве от энергетических свойств и конструкции заряда ВВ.

Научное значение работы заключается в повышении эффективности отбойки горных пород за счет изменения амплитуды волн напряжений путем применения зарядов с заданными энергетическими свойствами, выбором интервала замедления и диаметра зарядов.

Практическая ценность. Применение разработанного метода расчета параметров волны напряжений при взрыве системы зарядов, позволяет установить их взаимодействие с учетом объемной концентрации энергии и протяженности заряда. Предлагаемые заряды с заданными энергетическими свойствами, обеспечивает более интенсивную проработку подошвы, оптимальную степень дробления горной массы и минимальные потери минерального сырья, тем самым повышается производительность погрузочно-транспортного оборудования карьера.

Методы исследования. Обзор и анализ научных исследований отечественных и зарубежных ученых в области взрывных работ, комплексное использование теоретических и экспериментальных методов, применение математического моделирования волнового нагружения массива горных пород взрывом зарядов ВВ на программном продукте ANSYS, сравнительный анализ результатов исследований.

1 Анализ и оценка влияния параметров БВР на формирование параметров волн напряжений в массиве горных пород при производстве массовых взрывов

1.1 Анализ применения энергетического принципа к расчету скважинных зарядов на карьерах

При разработке полезных ископаемых открытым способом одним из важнейших технологических элементов является разрушение горного массива взрывным способом с последующей погрузкой и транспортированием горной массы за пределы карьера. При этом разработка методов управления действием взрыва, наиболее полно учитывающих конкретные условия ведения взрывных работ, а также правильное сочетание и использование факторов, влияющих на конечный результат взрыва, обеспечивают быстрое и экономически выгодное решение определенной технологической задачи.

Как известно, действие взрыва на твердую среду представляет собой крайне сложное явление. Слишком быстрые процессы, очень высокое давление, возникающее при взрыве, а также невозможность непосредственного наблюдения развития процесса в непрозрачных средах усложняют исследования действия взрыва.

Именно поэтому в течение нескольких столетий изучение действия взрыва в твердой (горной) среде ограничивалось отношением величины заряда и глубины его заложения с результатом взрыва: характером и объемом деформаций среды. Такое отношение позволило выявить некоторые закономерности и, используя их, в известной мере управлять работой взрыва. Основные из этих закономерностей - прямая пропорциональность объема разрушаемой взрывом среды объему (следовательно, и весу) заряда ВВ и, в частности, в виде кубической зависимости между весом заряда и его удалением от свободной поверхности - по крайней мере, в течение трех столетий использовались и в наше время широко используются в практике взрывных работ [1, 2, 3].

В результате исследований многих ученых [4, 5, 6, 7], выполненных в течение последних лет, сложились четкие представления о механизме разрушения горных пород действием взрыва, роли волн напряжений, возникающих в породе при взрыве заряда ВВ, и энергии, остающейся в продуктах детонации после генерирования волны напряжений. На основе теории отраженных волн предложены способы расчета всех параметров скважинных зарядов или расчета линии наименьшего сопротивления (ЛНС). Эти способы расчета имеют значительную ценность, однако в основе их лежит допущение о том, что доля энергии, выходящей в волну напряжений, для данной породы не только постоянна, но и коэффициент пропорциональности одинаков для всех ВВ, и что остаточная энергия продуктов детонации играет лишь второстепенную роль в процессе разрушения - сообщение дополнительной скорости кускам породы,

отделенной от массива отраженной волной. Позднейшие исследования крупнодисперсных ВВ выявили, однако, влияние состава и дисперсности ВВ на выход энергии в волну.

Сложность явления взрыва и его воздействия на горную породу наряду с многообразием задач, которые ставятся перед взрывом, определяют закономерность другого принципа расчета, основанного на сопоставлении величины заряда и его положения в массиве породы с конечным результатом действия взрыва.

Расчет скважинных зарядов на карьерах практически производят на основе объемной формулы, т.е. равенства заряда скважины произведению расчетного коэффициента ВВ (кг/м^3) на объем параллелепипеда (м^3), сторонами основания которого являются расстояние между соседними скважинами в ряду (a) и ЛНС первого ряда (W) или расстоянием между рядами, а высотой - высота уступа. В том случае, когда основание параллелепипеда принято квадратным ($a=W$), возможно элементарно просто вычислить допустимую ЛНС из сопоставления веса заряда, вмещаемого скважиной (с учетом необходимой длины забойки), с весом заряда, необходимым для разрушения породы в объеме блока. Расчетный коэффициент ВВ принимают обычно исходя из фактического удельного расхода для данного или аналогичных месторождений, емкость скважины данного диаметра исходя из практически измеримой вместимости ВВ в 1 м скважины. При замене одного ВВ другим расчетный коэффициент ВВ пересчитывают умножением его на переходный коэффициент, который представляет собой отношение показателя работоспособности заменяемого ВВ к такому же показателю заменяющего.

Исследования последних лет с достаточной надежностью показали, что работа взрыва заряда ВВ как по объему отбитой взрывом породы, так и по степени ее дробления пропорциональна потенциальной энергии заряда [4, 5, 6, 7], следовательно, вместо переходного коэффициента при расчете зарядов целесообразно использовать показатель удельной энергии ВВ. При суждении о коэффициенте пропорциональности необходимо учесть влияние геометрических факторов на степень полезного использования энергии взрыва.

Взрыв заряда ВВ определенной величины, помещенного на такой глубине от поверхности массива, что запас его энергии недостаточен для преодоления сопротивления толщ массива между свободной поверхностью и зарядом, не проявляет никакого видимого действия на поверхности, действие взрыва сводится только к местным формам работы взрыва расширению зарядной полости и образованию каверны, размеры которой зависят от величины заряда и физико-механических свойств породы. Оставшаяся неиспользованной энергия волны взрыва распространяется в форме упругих колебаний, не вызывающих разрушения самой породы, но могущих быть причиной деформации и разрушений зданий и сооружений, находящихся в окрестности очага взрыва. Неиспользованная энергия продуктов детонации рассеивается в окружающей породе за счет ее нагревания. Заряд, взрыв которого не вызывает де-

формации на свободной поверхности, называют зарядом камуфлета; наибольшим из зарядов камуфлета, еще не оказывающий действия на поверхности - зарядом наибольшего камуфлета. Опыт показывает, что взрыв заряда ВВ, по своей величине несколько превышающего заряд наибольшего камуфлета, сопровождается в определенных условиях отколом среды на поверхности, образуя откольную воронку, которая неразрушенной средой отделена от каверны взрыва.

При некоторой меньшей глубине заложения заряда энергия взрыва окажется достаточной для смещения породы в сторону свободной поверхности, причем это смещение охватит всю толщу породы между зарядом и поверхностью, будет сопровождаться дроблением породы и ее подъемом на небольшую высоту (вспучиванием, выпиранием). В результате взрыва образуется конусообразная воронка, заполненная раздробленным материалом (заряд выпирающего действия). По мере дальнейшего уменьшения глубины заложения заряда постоянного веса интенсивность смещения породы, скорость ее движения и дальность отброса будут возрастать, воронка взрыва станет видимой. При некотором заглублении заряда она будет прямоугольной и отношение радиуса основания воронки к глубине заложения заряда (называемое показателем действия взрыва и обозначаемое $n=r/W$) равно единице. При дальнейшем приближении заряда к свободной поверхности угол раствора воронки и показатель действия взрыва будут возрастать вместе с увеличением дальности отброса кусков раздробленной породы. Если глубина заложения заряда снизится до нуля, т.е. заряд будет расположен на поверхности, размеры и объем воронки резко уменьшатся. Звук взрыва от глухого при заряде наибольшего камуфлета и заряде выпирающего действия по мере уменьшения глубины заложения заряда постоянного веса усиливается до резкого при расположении заряда на свободной поверхности, одновременно удельная затрата энергии ВВ на единицу объема образованной воронки возрастает, достигая максимума при взрыве наружного заряда.

Исследования зависимости действия взрыва заряда постоянной величины от глубины его заложения производились в разных странах в течение нескольких лет. Результаты исследований применительно к сосредоточенным (сферическим) зарядам обобщены относительными данными, приведенными в таблице 1.1. За 1 единицу приняты показатели взрыва сосредоточенного заряда, образующего воронку выброса с показателем выброса $n=r/W=1$.

Увеличение относительного расхода ВВ на единицу объема разрушенной взрывом породы по мере возрастания показателя действия взрыва Рисунок 1.1 указывает на изменение доли энергии, затрачиваемой на различные проявления взрыва – дробление породы, ее метание, формирование ударной и звуковой волн в воздухе.

таблица 1.1 – Результаты исследований применительно к сосредоточенным (сферическим) зарядам.

Глубина заложения заряда, м	Показатель действия взрыва $n=r/W$	Объем воронки, м ³	Удельный расход ВВ, кг/м ³
0,39	3,0	0,54	1850
0,47	2,5	0,65	1540
0,58	2,0	0,78	1280
0,73	1,5	0,88	1140
1,0	1,0	1,0	1000
1,4	Заряд выпирающего действия	3,0	330
1,7	Заряд наибольшего камуфлета	-	-

Наглядно эти изменения показаны на рисунок 1.2. На оси абсцисс отложена глубина заложения заряда постоянного веса, отнесенная к критической глубине заложения, при которой разрушающее действие взрыва только начинает проявляться на поверхности, нулевому значению абсциссы соответствует расположение заряда на свободной поверхности массива.

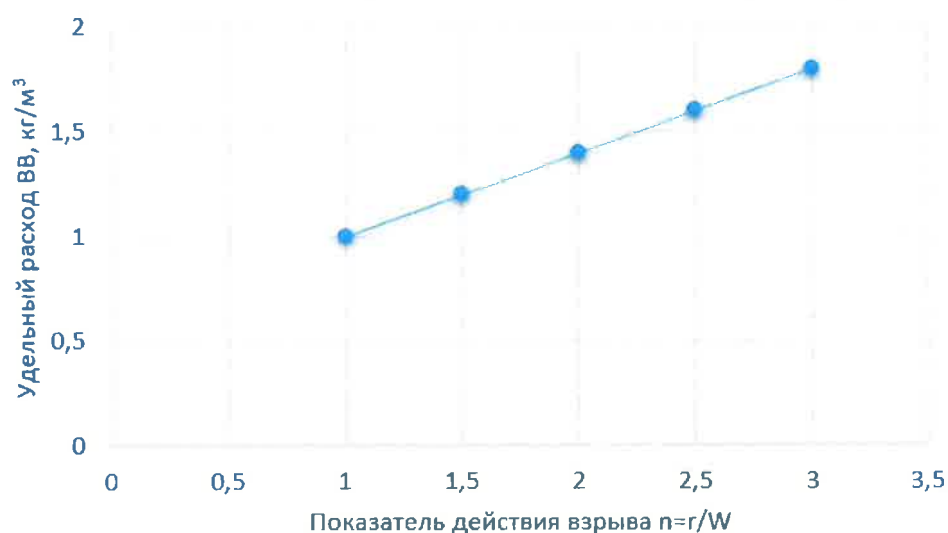


Рисунок 1.1 – График зависимости удельного расхода ВВ от показателя действия взрыва

Как следует из данных таблицы 1, изменение действия взрыва и его показателя $n=r/W$ при постоянной глубине заложения заряда может быть достигнуто только увеличением удельного расхода ВВ, а при расчете величины заряда – соответствующим увеличением расчетного коэффициента ВВ.

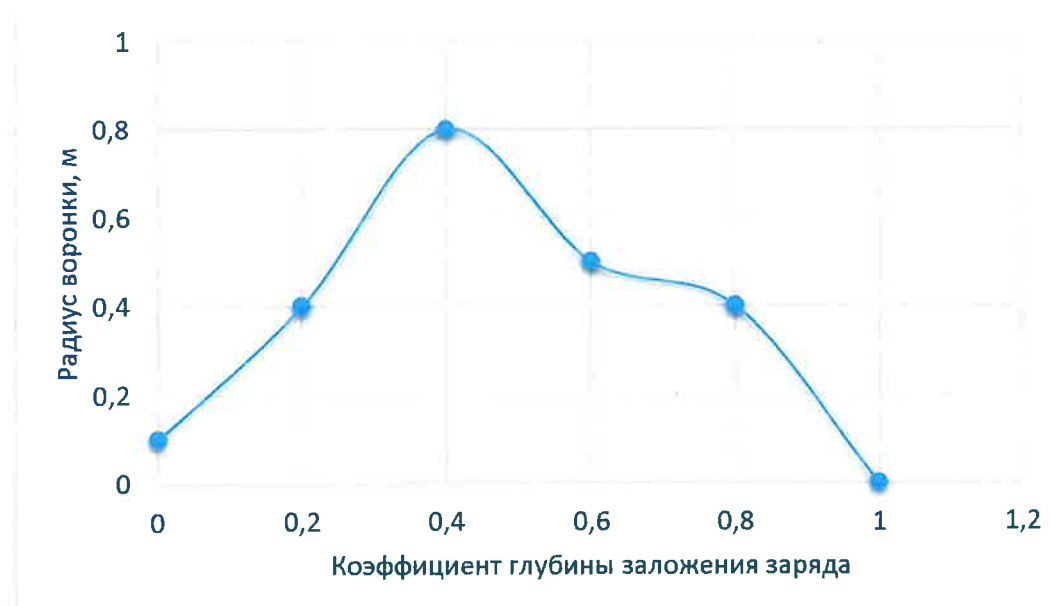


Рисунок 1.2 – График проявления радиуса воронки при различных значениях коэффициента глубины заложения заряда

Данные, приведенные в таблице 1 и на рисунке 1.1, 1.2, относятся к глубине заложения заряда относительно горизонтальной свободной поверхности. Если она вертикальна или круто наклонна, как это имеет место при взрывании вертикальных или наклонных скважинных зарядов на уступах, то вполне достаточно заряда выпирающего действия или даже меньшего, но немного превышающего заряд наибольшего камуфлета для того, чтобы порода была не только отделена от массива и раздроблена, но и обрушена на подошву уступа. Это соображение должно быть учтено при оценке предельного сопротивления, преодолеваемого взрывом скважинного заряда. Вторым исходным соображением может быть постоянство веса цилиндрического заряда на единицу его длины, пропорционального диаметру заряда и плотности ВВ. Поскольку длительным опытом применения ВВ для цилиндрических зарядов, параллельных свободной поверхности, установлена зависимость величины заряда квадрату его ЛНС, равной глубине заложения заряда, возможно следующее равенство между весом заряда, вмещаемого скважиной и зависящего от его диаметра, длины и плотности ВВ, с одной стороны, и величиной заряда, необходимой для линейного сопротивления породы:

$$\varepsilon = \frac{1000\pi d^2 l \Delta}{4} = k_y \frac{q}{e} W^2 l, \text{ кг}, \quad (1.1)$$

где d - диаметр заряда, м;

l - длина заряда, м;

Δ - плотность ВВ, кг/м³;

W - ЛНС, м;

q - расчетный коэффициент эталонного ВВ для зарядов с показателем действия $n=r/W=1$, кг/м³;

e - удельная энергия применяемого ВВ, отнесенная к удельной энергии эталонного ВВ;

k_y - коэффициент, учитывающий отклонение требуемого действия взрыва от условия $n=1$.

Решение равенства относительно ЛНС дает основную зависимость:

$$W = 28d \sqrt{\frac{\Delta e}{k_y q}}, \text{ м.} \quad (1.2)$$

Принятие в качестве эталонного ВВ аммонита 6ЖВ с удельной энергией 1030 ккал/кг или, приближенно, $1 \cdot 10^3$ ккал/кг позволяет вместо e вводить численное значение удельной энергии применяемого ВВ в тех же единицах ($1 \cdot 10^3$ ккал/кг), тогда произведение $\Delta e = E$ будет представлять собой объемную концентрацию энергии ВВ. При использовании гранулитов с насыпной плотностью $\Delta = 0,9$ и удельной энергией 904 ккал/кг или, приближенно, $0,9 \cdot 10^3$ ккал/кг E приобретает значение 0,81; при алюмотоле с насыпной плотностью $\Delta = 0,95$ и удельной энергией $1,26 \cdot 10^3$ ккал/кг значение $E = 1,2$. Следовательно, при гранулите ЛНС может быть принята равной $\sqrt{0,81} = 0,9$, а при алюмотоле $\sqrt{1,2} = 1,1$ от ЛНС, преодолеваемой взрывом заряда аммонита 6ЖВ того же диаметра. При пневматическом зарядании плотность гранулитов составляет 1000–1200 кг/м³, в среднем 1100 кг/м³, объемная концентрация энергии $E = 1,1:0,9 = 1,0$ и взрыв гранулитов преодолеет такое же сопротивление, как и при аммоните 6ЖВ с плотностью зарядания $\Delta = 1,0$.

На расчетное значение W существенное влияние оказывает величина k_y . По данным исследования [4, 5, 6, 7] удлиненных зарядов, параллельных неограниченной свободной поверхности, значение k_y можно принять в пределах от 0,5 при зарядах выпирающего действия до 0,34 при зарядах наибольшего камуфлета. Тогда граничные значения W определятся:

$$40d \sqrt{\frac{E}{q}} \leq W \leq 48d \sqrt{\frac{E}{q}}. \quad (1.3)$$

Расчетный коэффициент q зависит от свойств ВВ и физико-механических свойств породы, для эталонного ВВ (аммонита 6ЖВ) его значения можно принять применительно к данным Союзвзрывпрома, проверенным весьма обширным опытом взрывных работ [4, 5, 6, 7]. Поскольку удельная энергия аммонита 6ЖВ с некоторым приближением равна $1 \cdot 10^3$ ккал/кг, вместо расчетного коэффициента в формулы (1.2) и (1.3) следует ввести энергоемкость разрушения породы взрывом (точнее энергоемкость нормального воронкообразования), численно равную произведению расчетного коэффициента на удельную энергию эталонного ВВ. Например, $1,5 \cdot 1 \cdot 10^3$ кг/м³·ккал/кг, в этом случае

энергоемкость q , так же как и объемная концентрация энергии, будет выражена, в килокалориях.

Относительные значения преодолеваемого сопротивления, вычисленные по формуле (1.3) с $k_y = 0,34$, как для зарядов наибольшего камуфлета, в диапазоне $f=5\div 20$ хорошо соответствуют передовой практике взрывных работ на карьерах (W составляет 30–40d). Ряд меньших значений W , соответствующий $k_y = 0,5$ при заряде выпирающего действия, предопределяет усиление действия взрыва скважинных зарядов, связанное с увеличением ширины развала или необходимое при взрывании в условиях зажатой среды.

Показатель объемной концентрации энергии ВВ (E) более точно отражает взрывные свойства ВВ, нежели относительный показатель работоспособности ВВ, принимаемый по расширению канала в свинцовой бомбе, в которой производят взрыв заряда ВВ постоянного веса.

А.Ф. Беляевым [4, 5, 6, 7] был предложен более совершенный метод относительной оценки работоспособности ВВ, отличающийся взрыванием заряда ВВ постоянного объема (а не постоянного веса) в канале свинцовой бомбы. Относительный показатель, установленный по этому методу при взрывании аммонита 6ЖВ в качестве эталона, мог бы использоваться для вычисления преодолеваемого сопротивления. К сожалению, метод А.Ф. Беляева, равно как и стандартный метод испытания ВВ на работоспособность в свинцовой бомбе, не вполне пригодны для гранулированных и водонаполненных ВВ, характеризующихся низкой чувствительностью к восприятию детонации (необходимо значительное увеличение заряда ВВ и его диаметра по сравнению с установленным стандартом). В последние годы предложенный А.Ф. Беляевым принцип использован в США при разработке метода экспериментальной оценки расчетных параметров ВВ по образованию воронок взрывом заряда постоянного объема при переменной глубине заложения.

В качестве критерия оценки энергоемкости разрушения горных пород взрывом принимается предложенный проф. М.М. Протодяконовым [4, 5, 6, 7] коэффициент крепости в том его значении, которое определяет взрываемость горной породы с учетом ее вязкости, строения, трещиноватости и которое может быть отличным от буримости. С увеличением масштаба взрывных работ на карьерах большое значение приобретают прочностные свойства разрабатываемого массива, отражающие не только взрываемость слагающих пород, но и их взаимное расположение, а также трещиноватость массива или, точнее, характер и размеры отдельностей, обусловленных трещинами, а также контактами напластования или наслоения. Интенсивно развитая трещиноватость массива, при которой размер естественной отдельности не превышает кондиции, предъявляемой к куску взорванной горной массы, облегчает работу взрыва: достаточно встряхивания и небольшого смещения массива, чтобы нарушилось его статическое равновесие, и он рассыпался на отдельности. В этом случае энергоемкость разрушения является минимальной.

Напротив, если размер естественной отдельности значительно превышает кондиционный кусок, только нарушение статического равновесия массива недостаточно, чтобы устранить необходимость вторичного взрывания некондиционных кусков, связанного с дополнительными затратами, нарушениями технологического процесса и простоями оборудования. Необходимо действием основного взрыва раздробить отдельности за счет увеличения энергии взрыва. Для этого коэффициент крепости должен быть принят более высоким, чем это следовало бы из буримости породы или ее прочности на сжатие. Изложенное показывает, что для правильной оценки энергоемкости разрушения необходимо тщательное изучение свойств и состояния горного массива.

Отдельные исследователи [4, 5, 6, 7], следуя приближенным допущениям Г.И. Покровского, принимают объемный вес породы в качестве показателя, определяющего расчетный коэффициент ВВ. На первый взгляд этот показатель проще, легче определяется и кажется более объективным. Однако практические преимущества объемного веса породы перед коэффициентом крепости спорны, если принимать во внимание, что некоторые свойства, например высокая пористость, присущая известняку-ракушечнику, существенно снижает объемный вес, повышая сжимаемость, которая увеличивает потери энергии взрыва на обжатие. В результате такие породы требуют для своего разрушения такого же удельного расхода ВВ, как граниты и базальты с вдвое большим объемным весом.

Линейное сопротивление, преодолеваемое взрывом скважинных зарядов, может быть принято меньше его предельных значений, но при этом, повысятся затраты энергии на метание (отброс) раздробленной взрывом породы. Кинетическая энергия движения кусков породы при надлежащем управлении действием взрыва может быть использована на механическую работу дополнительного дробления породы.

Практически условия взрывания на уступе в подавляющем большинстве случаев отличаются от рассмотренного случая взрывания цилиндрических зарядов, расположенных параллельно свободной поверхности, протяженность которой в любом направлении не ограничена. Даже в лучшем случае, когда скважинный заряд параллелен свободной поверхности, конфигурация уступа ограничивает свободу смещения поверхности на уровне подошвы, а заряд, как принято говорить, находится в условиях зажима. Кроме того, если в верхних двух третях высоты уступа для отбойки породы и ее дробления взрывом необходимо преодолевать сопротивление породы растяжению, то на уровне подошвы следует преодолевать сопротивление сдвигу, по меньшей мере вдвое большее по сравнению с первым, и сопротивление трению. Следовательно, заряд на уровне подошвы уступа должен быть усилен. При зарядании скважин каким-либо одним ВВ постоянной плотности и с неизменной объемной концентрацией энергии скважину бурит ниже уровня подошвы, ВВ, заполняющее перебур, усиливает действие взрыва заряда. При недостаточном усилении заряда взрыв не преодолевает сопротивления по подошве уступа, отрыв породы

происходит не по горизонтальной линии, а с повышением в глубь массива остается «порог» неразрушенной породы.

В перебуре нет надобности в двух случаях:

- когда на уровне подошвы сплошность пород массива нарушена четко выраженной поверхностью напластования или тектонической трещиной, взрыв скважинного заряда преодолет сопротивление породы, одинаковое по всей длине заряда, без затраты дополнительной энергии на сопротивление породы сдвигу;

- когда заряд не доведен до подошвы уступа и для нижней части заряда в направлении, проходящем под углом 45° к оси заряда от его торца, свобода смещения боковой поверхности уступа не ограничена. Первый случай в практике взрывных работ на карьерах встречается исключительно редко, второй влечет за собой нарушение технологии открытых горных работ, поскольку отрыв породы взрывом происходит под углом 45° к оси заряда.

Наиболее целесообразным, с точки зрения преодоления взрывом сопротивления по подошве, является применение сосредоточенного заряда, по возможности сферической формы, с расположением его центра на уровне подошвы. Технически сосредоточение заряда может быть выполнено образованием в донной части скважины котла посредством механического расширения скважины или путем простреливания, т.е. последовательного взрывания небольших, но каждый раз возрастающих по величине зарядов ВВ, результаты взрыва которых ограничиваются местным действием и проявляются в расширении простреливаемой части скважины. Второй из этих способов несовершенен из-за неоднородности физико-механических свойств пород, слагающих массив, которая приводит к образованию котлов неправильной формы, неопределенного и трудно измеримого объема.

Величина сосредоточенного заряда может быть определена по формуле:

$$Q = k_c \frac{q}{e} W^3, \text{ кг}, \quad (1.4)$$

где k_c - коэффициент, учитывающий отклонение требуемого действия взрыва от условия $n=1$; для сосредоточенных зарядов значение k_c в полтора раза меньше значения k_y для удлиненных зарядов и, в частности, для зарядов выпирающего действия составляет $k_c = 0,33$.

Исходя из формулы (1.4), возможно определить длину скважинного заряда, равноценного сосредоточенному. Для обеспечения равенства:

$$k_y \frac{q}{e} W^3 l = k_c \frac{q}{e} W^3, \quad (1.5)$$

необходимо, прежде всего, чтобы длина заряда $l = W$. Однако это условие недостаточно, поскольку $k_y = 1,5k_c$ и поэтому фактически преодолеваемое

взрывом скважинного заряда длиной W сопротивление составит только $2/3$ сопротивления, преодолеваемого взрывом сосредоточенного заряда. Это подтверждается результатами исследований У. Лангефорса [7], графически представленных на рисунок 1.3, из которого видно, что никакое дальнейшее удлинение заряда выше подошвы не может усилить радиуса разрушительного действия его взрыва: недостающая энергия должна быть обеспечена частью заряда в перебура. Согласно теоретическим исследованиям, достаточная глубина перебура находится в пределах $0,3W$. Экспериментальные исследования Союзвзрывпрома [6, 7] полностью подтвердили, что увеличение длины заряда аммонита 6ЖВ над подошвой свыше W , т.е. свыше $l = 32 \div 34d$ (в гранитах с $f=12 \div 14$) и перебура свыше $0,4W$ (или $12d$ в гранитах с $f=12 \div 14$) не создают возможности возрастания преодолеваемого взрывом сопротивления.

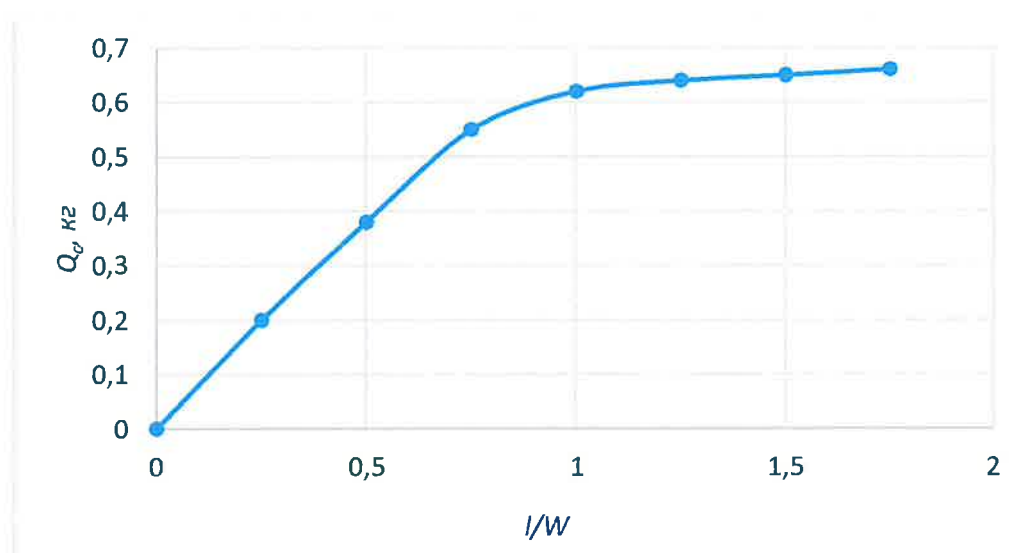


Рисунок 1.3 – График эквивалентной величины сосредоточенного заряда Q_c в зависимости от относительной длины l/W цилиндрического заряда

Следовательно, длина скважинного заряда, взрыв которого в состоянии преодолеть сопротивление на уровне подошвы уступа, должна быть равна $1,3W$ а его величина:

$$Q_y = k_y \frac{q}{e} W^2 (W + 0,3W) = 1,3k_y \frac{q}{e} W^3, \text{ кг.} \quad (1.6)$$

При наличии возможности увеличения диаметра скважины на уровне подошвы для размещения сосредоточенного заряда диаметр расширенной части скважины можно определить из сопоставления необходимой величины заряда по формуле (1.6) с весом цилиндрического заряда искомого диаметра и длины, не превышающей упятеренного искомого диаметра (условие сосредоточенности заряда):

$$1,3k_y \frac{q}{e} W^3 = 785d^2 \cdot 5d\Delta, \quad (1.7)$$

откуда, при граничных значениях $0,5 \geq k_y \geq 0,34$, находим:

$$0,055W^3 \sqrt{\frac{q}{E}} \geq d \geq 0,048W^3 \sqrt{\frac{q}{E}}, \text{ м.} \quad (1.8)$$

Наиболее целесообразно расширение (котел) скважины размещать таким образом, чтобы центр сосредоточенной части заряда находился на уровне подошвы уступа. В этом случае объем бурения ниже подошвы будет меньше и, кроме того, уменьшится сейсмическое действие взрыва. Сейсмическое действие взрыва тем больше, чем больше длина заряда ниже уровня подошвы, поскольку в этой части заряда цилиндрическая волна напряжений, распространяясь по радиальным направлениям, не встречает свободных поверхностей, в направлении которых могло бы произойти смещение среды, и волна могла бы совершить полезную работу разрушения, и перерождается в упругую волну сейсмических колебаний.

Формула (1.3) для условий взрывания удлиненного заряда ВВ, параллельного вертикальной боковой поверхности уступа, когда ЛНС перпендикулярна продольной оси заряда. Если угол откоса уступа меньше 90° , то линейное сопротивление по подошве уступа всегда превышает ЛНС рисунок 1.4. При заряде выпирающего действия угол при вершине воронки разрушения составляет 70° и образующая воронки (линейное сопротивление по подошве) равна $W_{п.п.} = W \cos(70^\circ/2) = 1,1W$. Это предельное геометрическое значение $W_{п.п.}$ соответствует величине угла откоса уступа $W_{п.п.} \alpha = 65^\circ$, при увеличении угла откоса $W_{п.п.}$ стремится к W .

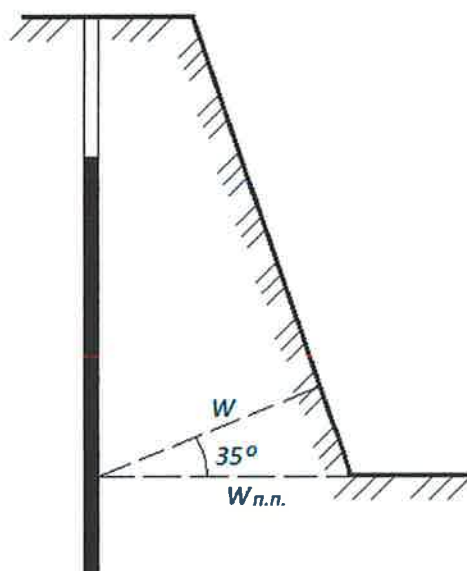


Рисунок 1.4 – Схема для определения W и $W_{п.п.}$.

С другой стороны, необходимо иметь в виду зависимость предельного значения $W_{п.п.}$ от высоты уступа H и безопасного (по условиям размещения

станка) расстояния скважины от бровки забоя B . Эта зависимость выражается равенством:

$$W_{\text{п.п.}} = H \operatorname{ctg} \alpha + B, \text{ м}, \quad (1.9)$$

где B принимается в пределах 2,5–3,0 м.

Исходя из этой зависимости и формулы (1.3), представляется возможным:

а) определять для заданного диаметра заряда предельно допустимую высоту уступа в зависимости от угла откоса уступа:

$$H = \frac{(1,1W - B)}{\operatorname{ctg} \alpha} = \frac{\left[1,1(40 \div 48)d \sqrt{\frac{E}{q}} - B \right]}{\operatorname{ctg} \alpha}, \text{ м}; \quad (1.10)$$

б) определять рациональный диаметр заряда при заданной высоте уступа:

$$d = \frac{(H \operatorname{ctg} \alpha - B)}{\left[1,1(40 \div 48)d \sqrt{\frac{E}{q}} \right]}, \text{ м}. \quad (1.11)$$

Следует учитывать, что вновь образовавшаяся после взрыва вертикального заряда боковая поверхность уступа параллельна первоначальной и что за линией отрыва на верхней поверхности уступа возникают трещины, параллельные фронту уступа заколы, их количество и ширина тем больше, чем меньше угол откоса уступа и чем больше линия сопротивления по подошве. Заколы увеличивают опасность ведения горных работ и снижают производительность бурения последующих рядов скважин. В связи с этим более рационально размещение зарядов ВВ в наклонных - скважинах, параллельных боковой поверхности уступа.

1.2 Распространение волн напряжений и зоны разрушения горных пород во времени и в зависимости от условий взрывания

В работе [8] достаточно четко дается определение волнам напряжений: «волны напряжений представляют собой распространяющиеся в пространстве возмущения с плавным нарастанием механических параметров среды до некоторых максимальных величин и их последующим непрерывным изменением». Максимальные амплитуды в волнах напряжений могут достигать таких размеров, что их влияние приведет к необратимым процессам в массиве горных пород. Скорость распространения волн напряжений равна

или превышает скорость распространения продольных звуковых волн. На больших расстояниях (около 150 радиусов заряда ВВ и более) волны напряжений в массиве приобретают характер сейсмических волн, при распространении которых необратимых процессов уже не происходит [8, 9].

Параметры волн напряжения существенно зависят от специфических свойств окружающей среды, типа взрыва и условия взрывания скважинного заряда. Условия взрывания зависят, прежде всего, от плотности заряжания, места расположения инициатора, числа точек инициирования. Длительность положительной фазы волны напряжения во многом определяется временем развития полости до максимума, т.к. продукты детонации расширяются и непрерывно передают в окружающую среду запасенную в них при взрыве энергию, подпитывая зафронтовую часть волны напряжения [9, 10, 11, 12].

Рассмотрим взрыв сферически-симметричного заряда в изотропной однородной бесконечной горной породе. Разумеется, подобным образом взрыв развивается лишь в исключительных случаях, например в лабораторных экспериментах. В натуре этому препятствуют неоднородности реальных горных пород, геологические образования и конечные глубины заложения заряда. Тем не менее, задача о сферически-симметричном взрывном движении хоть и является модельной, но лежит в основе анализа более сложных реальных движений.

В соответствии с моделью В.Н. Родионова процесс взрыва состоит из четырех этапов [13]:

Первый этап - гидродинамический, на котором горная порода моделируется жидкостью до тех пор, пока давление на границе продукты детонации — грунт не уменьшится до величины порядка прочности частиц породы. Принимается, что жидкость является идеально уплотняющейся на фронте волны и несжимаемой за фронтом волны. На первом этапе часть потенциальной энергии продуктов детонации переходит в кинетическую энергию горной породы.

На втором этапе горная порода считается твердой средой, на поведение которой существенное влияние оказывают и касательные напряжения, происходит дробление и уплотнение горной породы под действием ударной волны. Разрушается горная порода на втором этапе сжимающими напряжениями, т.е. происходит ее раздавливание. При рассмотрении случая разрушения горной породы под действием сдвигового напряжения на фронте ударной волны среда уплотняется на некоторую постоянную величину, фронт ударной волны является одновременно границей, на которой среда переходит из упругого состояния в пластическое или разрушается хрупко на сдвиг. Второй этап развития взрыва в горной породе продолжается до момента, когда фронт ударной волны отделяется от фронта разрушения и его скорость равна скорости упругой волны. В этой зоне (при уровне напряжений выше 0,1 МПа) происходят наибольшие диссипативные (необратимые) потери энергии взрыва, сопровождаемые повышением температуры частиц. Поглощаемая энергия составляет в этой зоне до 70 % от энергии взрыва.

Третий этап характеризуется динамическим безволновым расширением полости. Он начинается с того момента, когда напряжение на фронте волны оказывается недостаточными для разрушения среды и фронт разрушения начинает отставать от фронта волны, которая убегает вперед. Разрушенная, гранулированная горная порода между фронтом разрушения и полостью движется с внутренним сухим трением. Перераспределение энергии вследствие волновых процессов не учитывается. Расширение полости прекратится тогда, когда статическое напряженное состояние, обусловленное прочностными свойствами среды, сможет удержать давление продуктов взрыва. Перед фронтом разрушения среда считается упругой.

На четвертом этапе происходит только распространение упругих волн, излучающихся внешней границей зоны разрушения. Он начинается с момента остановки фронта разрушения, когда движение сохраняется только в упругой неразрушенной среде.

Такова в общих чертах картина разрушения скального массива при медленном расширении полости. Отметим, что при камуфлетном взрыве заряда в скальных горных породах, как показывает опыт, наблюдается аналогичная картина разрушения.

После завершения процесса развития взрыва в среде можно наблюдать следующую картину рисунок 1.5 сферическая полость окружена раздробленной и перемятой горной породой, трещины здесь направлены хаотично. Эта зона затем переходит в зону трещиноватости с преимущественно радиальным направлением трещин. Далее простирается упругая зона, где нарушений целостности массива (если первоначально он был однородным) не видно. Граница упругой зоны обычно выражена слабо и поэтому часто нельзя обнаружить зоны радиальных трещин. Наиболее отчетливо обычно обнаруживается зона дробления.

Большое влияние на параметры волн напряжений при взрыве оказывают естественные трещины в горных породах. При оценке разрушающего действия взрыва в случае трещиноватых пород следует также иметь в виду изменение их прочностных свойств по сравнению с монолитным массивом.

Таким образом, волны напряжений и установление закономерностей их распространения имеют большое практическое значение при взрывном разрушении горных пород.

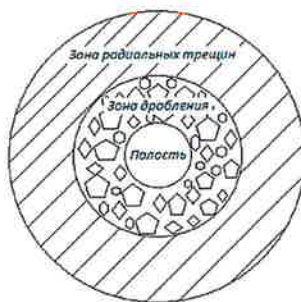
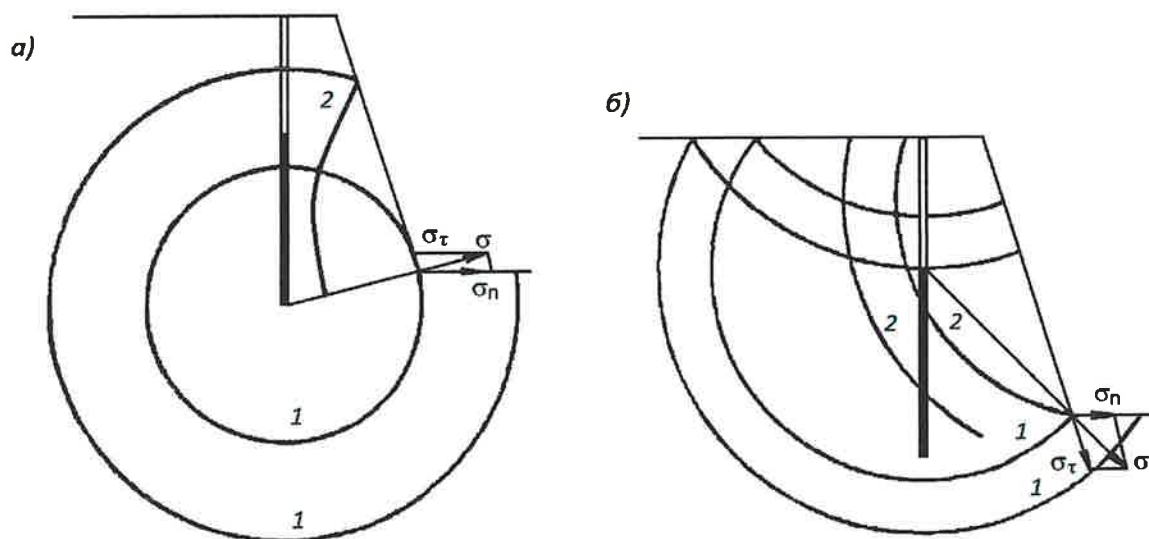


Рисунок 1.5 – Зоны разрушения горных пород при взрыве сферического заряда

При реализации указанной модельной схемы наиболее удобным оказался способ сопоставления движения на разных этапах, предложенный авторами работы [8]: расчет на каждом этапе сводится к решению дифференциального уравнения относительно радиуса полости. Таким образом, процесс формирования полости служит остовом разработанной теории подземного взрыва. Все остальные параметры механического действия взрыва выражаются через радиус полости, а также через упруго-прочностные свойства среды и энергию взрыва.

В работе [14] приведены результаты исследований зависимости формы поля напряжений от месторасположения боевика в гранитном массиве и построен фронт волны напряжений для различных видов ВВ (рис. 1.6).

В первом случае при инициировании снизу за время прохождения детонационной волны по всей колонке заряда фронт волны напряжений успевает дойти до поверхности в нижней части уступа и в виде отраженной волны следовать в сторону заряда. Нормальные напряжения перпендикулярны фронту волны.



1 - фронт волны в породе от боевика; 2 - фронт отраженной волны;

а - инициирование снизу; б - инициирование от устья скважины;

σ_τ , σ_n , σ – векторы касательных напряжений

Рисунок 1.6 – Форма поля напряжений к моменту окончания детонации колонки заряда

При взрывании такого же скважинного заряда с инициированием сверху за время прохождения волны детонации фронт волны напряжений доходит до верхней площадки уступа и до борта, отражается от их поверхностей и возвращается в виде отраженной волны, причем нижняя часть уступа к этому времени еще не подвержена взрывным нагрузкам.

Сравнивая картину распространения фронта поля напряжений при различных направлениях распространения детонационной волны, нетрудно убедиться в том, что инициирование заряда снизу создает лучшие условия для разрушения нижней части уступа. Это подтверждается тем, что в точке сопряжения откоса уступа с подошвой величина напряжения, вызывающего деформацию сдвига уступа по плоскости подошвы, при инициировании снизу в два раза больше, чем при инициировании сверху.

Векторы касательных напряжений по линии откоса в этой же точке противоположны по направлению, причем при распространении детонационной волны сверху касательное напряжение не способствует разрушению нижней части уступа.

Такая зависимость разрушения от положения инициатора прослеживается для различных типов ВВ. Причем наиболее благоприятные условия создаются, когда скорость распространения волны напряжений в массиве превышает скорость распространения детонационной волны по колонке заряда. Волна напряжений достигает свободной поверхности раньше, чем закончится детонация всего заряда, и порода у свободной поверхности будет находиться в напряженном состоянии в течение всего последующего процесса детонации.

Таким образом, для повышения эффективности взрывных работ необходимо учитывать тип и энергетические свойства ВВ, положение боевика и основные расчетные элементы расположения заряда.

Распределение энергии взрыва, обеспечивающее необходимое дробление, выход горной массы и ширину ее развала, можно достичь правильным подбором расстояний между скважинами, последовательности взрывания зарядов, диаметра скважин, удельного расхода ВВ, способа размещения и конструкции зарядов в скважинах, а также размещение ВВ по колонке заряда с различными энергетическими свойствами.

2 Исследование влияния энергетических свойств ВВ и параметры буровзрывных работ на распределение волн напряжений в массиве горных пород

2.1 Обоснование и выбор начальных условий параметров зарядов ВВ для разработки модели распространения волн напряжений в массиве горных пород

На современном этапе развития промышленности строительных материалов разработке энерго - и ресурсосберегающей технологии отбойки гранита на щебень уделяется большое внимание, поскольку именно она, в конечном счете, определяет в значительной степени стоимость конечной продукции. Минимизация энергозатрат на стадии отбойки существенно зависит от качественных и количественных показателей взорванной горной массы - интенсивности и равномерности дробления [15].

Однако многообразие условий и форм организации ведения взрывных работ на карьерах служат причиной того, что не обеспечивается требуемое качество дробления горной массы, несмотря на имеющийся ряд высокоэффективных способов дробления горных пород взрывом. Наличие во взорванной горной массе крупных негабаритных кусков снижает производительность и срок службы погрузочно-транспортного оборудования. Вторичное дробление негабаритов, кроме того, нарушает режим работы карьера. Достаточно сказать, что снижение выхода негабарита с 8 до 4% приводит к уменьшению продолжительности временного цикла экскаватора на 15%, увеличению заполнения ковша на 7%, вследствие этого производительность экскаватора возрастает на 23-25%.

При уступной отбойке горной массы скважинный заряд встречает неравномерное сопротивление среды в соответствии с геометрическими свойствами уступа. В результате, в ближней зоне взрыва наблюдается большое переизмельчение породы, а в нижней части образуются пороги. На подошве уступа пороги после взрыва на карьерах не только требуют трудоемких работ по их ликвидации, но и вызывают простои горнотранспортного оборудования, нарушая общую организацию работ. Поэтому качество проработки подошвы уступа является существенным показателем успешного ведения взрывания.

Некачественное дробление горной породы объясняется тем, что параметры буровзрывных работ, конструкции зарядов взрывчатых веществ, систем инициирования зарядов не учитывают взаимосвязь энергетических свойств взрывчатых веществ с физико-механическими свойствами разрушаемых горных пород для конкретных условий. Поэтому минимизация энергозатрат на стадии отбойки может быть достигнута за счет рационального распределения энергии в разрушаемом объеме - выбора правильного метода ведения взрывных работ для конкретных условий, а также правильным сочетанием и использованием факторов, влияющих на степень дробления горной породы при взрыве.

Таким образом, основная задача состоит в том, чтобы обеспечить равномерность дробления отбиваемого массива за счет распределения энергии взрыва и оптимизации параметров БВР.

Увеличение доли полезного использования энергии взрыва возможно за счет применения различных конструкций зарядов и типов ВВ, позволяющих дифференцированно подойти к распределению энергии скважинного заряда.

Анализ распространения скорости детонации исследуемых конструкций зарядов показал, что только в заряде с переменной плотностью скорость детонации меняется плавно по высоте.

Не смотря на это, в настоящее время на карьерах используют сплошные скважинные заряды с постоянной плотностью по всей длине. Для определения параметров взрывных работ - принцип расчета, основанного на сопоставлении величины заряда и его положения в массиве породы с конечным результатом действия взрыва на основе объемной формулы [16, 17]:

$$Q = q \cdot V, \text{ кг}, \quad (2.1)$$

где Q - заряд скважины, кг;

q - расчетный коэффициент ВВ, кг/м³;

V - объем параллелепипеда, м³;

Сторонами основания параллелепипеда являются расстояние между соседними скважинами в ряду a и линия сопротивления по подошве первого ряда W или расстоянием между рядами b , а высотой – высота уступа H .

В качестве примера рассмотрим один из массовых взрывов, наиболее характерного для карьеров стройматериалов Рисунок. 2.1.

Линия сопротивления по подошве W составляет 8 м, а линия сопротивления в верхней части заряда $W_{заб}$ - 6,32 м. В соответствии с формулой (1.1) объемная концентрация энергии ВВ равна:

$$W = 28d \sqrt{\frac{\Delta e}{k_y q}} = W^2 = 784d^2 \frac{\Delta e}{k_y q} = \Delta e = E = \frac{k_y q W^2}{784d^2}. \quad (2.2)$$

В соответствии с теорией подобия формула (1.1) приобретает вид:

$$\frac{\Delta_1 e_1}{\Delta_2 e_2} = \frac{W_2^2}{W_1^2}. \quad (2.3)$$

Для данного случая отношение плотностей ВВ на уровне подошвы и в верхней части заряда равно:

$$\frac{\Delta e}{\Delta_{заб} e_{заб}} = \frac{W_{заб}^2}{W^2} = \frac{6,32^2}{8^2} = 0,624. \quad (2.4)$$

В связи с этим энергия, необходимая для преодоления сопротивления породы для данного случая, при условии, что удельная энергия ВВ одинакова, будет соответствовать плотности ВВ, которая равномерно распределяется по длине от 1000 кг/м³ до 1300 кг/м³.

Поскольку ЛНС в нижней части заряда превышает линию сопротивления по подошве, соотношение плотностей по подошве и на дне заряда равно:

$$\frac{\Delta e}{\Delta_{\text{пер}} e_{\text{пер}}} = \frac{W_{\text{пер}}^2}{W^2} = \frac{8,25^2}{8^2} = 1,06, \quad (2.5)$$

и соответственно плотность ВВ на дне заряда составляет от 1300 кг/м³ до 1350 кг/м³.

На рисунке 2.1 графически представлено распределение плотности ВВ по длине заряда. Увеличение объемной концентрации энергии может быть достигнуто [16, 17, 18]:

а) применением смесевых ВВ с повышенной удельной энергией за счет введения в их состав индивидуальных взрывчатых соединений и (или) мелкодисперсного алюминия. Однако при этом непропорционально возрастает стоимость энергии ВВ.

Кроме того, увеличивается их чувствительность к механическим воздействиям, что является неблагоприятным фактором при современных масштабах добычи полезных ископаемых открытым способом и при существующей технологии взрывных работ;

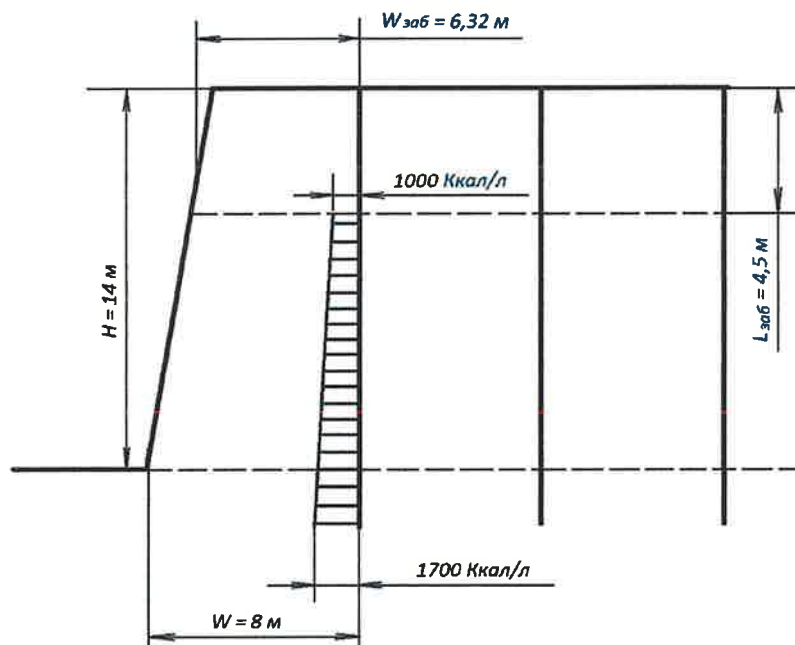


Рисунок 2.1 – Схема расположения скважинных зарядов и эпюра распределения плотности ВВ

б) применением прессованных или плавленных ВВ с более высокой по сравнению с порошкообразными ВВ плотностью 1400 кг/м^3 помимо непропорционального увеличения стоимости энергии ВВ.

Такие ВВ характеризуются жесткостью патрона (шашки). Для надежного и безопасного введения патронов прессованного или плавленого ВВ их диаметр должен быть меньше диаметра скважины. В результате ВВ заполняет не все сечение скважины, и плотность заряжения находится в пределах $0,7-0,8$ от плотности ВВ в патроне. Несколько выше плотность заряжения (и с нею объемная концентрация энергии) при применении плавленных ВВ (типа ТСА) в виде кусков неправильной формы, засыпаемых в скважину одновременно с гранулированными ВВ, заполняющими промежутки между кусками плавленого;

в) пневматическим заряжением сыпучих ВВ (лучше всего гранулированных), на $20-30\%$ увеличивающим плотность заряжения;

г) использование водонаполненных ВВ, плотность которых достигает $1,4-1,55 \text{ г/см}^3$, при этом текучесть водонаполненных ВВ, их высокая пластичность обеспечивают заполнение скважины на все сечение, даже при скважинах неправильной формы, и достижение плотности заряжения, равной или близкой к плотности самого ВВ.

На основе энергетического принципа расчета скважинных зарядов, достаточно просто определить параметры зарядов с переменной плотностью в соответствии с различными физико-механическими особенностями горного массива.

Все изложенное, хотя и не исчерпывает вопроса, все же в достаточной мере показывает широкие возможности, предоставляемые энергетическим принципом, точнее показателем объемной концентрации энергии ВВ, при расчете элементов скважинных зарядов, анализе условий их применения и разработке методов управления действием взрыва.

2.2 Разработка модели распространения волн напряжений в массиве горных пород при взрыве заряда с различной энергоемкостью

В последние годы горнодобывающая промышленность получила значительное развитие благодаря широкому применению достижений как фундаментальных, так и ряда прикладных наук. Особое значение имеет моделирование, основанное на теории подобия и размерности, так как позволяет при минимальных затратах и в кратчайшие сроки получить искомый результат [19, 20].

В основу применяемого математического моделирования сделаем следующие допущения:

1) за основную характеристику взрыва принимается общее количество выделившейся энергии.

2) передача энергии взрыва окружающей твердой среде осуществляется практически мгновенно, а движение среды, вызванное взрывом, происходит с

2) передача энергии взрыва окружающей твердой среде осуществляется практически мгновенно, а движение среды, вызванное взрывом, происходит с некоторыми конечными скоростями, т.е. процесс механического действия взрыва условно разделяется на две последовательные фазы; передача энергии взрыва окружающей среде и движение самой среды.

3) в момент передачи энергии взрыва окружающей среде реальные деформации отсутствуют, разрушений нет. Последнее возможно, если в качестве физической модели среды, т.е. выбирается модель идеальной несжимаемой жидкости.

4) в процессе движения самой среды могут возникать некоторые конечные деформации, которые по достижении критических значений приводят к разрушению среды.

Эти допущения позволяют существенно упростить поставленную задачу и получить некоторые важные практические результаты по действию взрыва на твердую среду на основе несложных численных расчетов.

В качестве принимаемой математической модели принимаются дифференциальные уравнения движения и неразрывности для идеально-упругой среды (до разрушения) с принимаемыми допущениями после взрыва. Полученная система разрешающих уравнений реализована в программе ANSYS.

В данной работе основное внимание будет уделено скальным горным породам, и, прежде всего, гранитам. Разрушение скальных массивов определяется в значительной степени свойствами слагающих массив минералов и трещиноватостью массива. Гранит - наиболее распространенная в земной коре кислая поликристаллическая магматическая горная порода, состоящая в основном из кислого плагиоклаза, кварца, слюды (биотит, мусковит) и калиевого полевого шпата (ортоклаз, мироклин). Утверждается, что биотит может являться слабым минералом для гранита, определяющим его дробимость в зоне активного разрушения. Кроме того, на процесс разрушения будет влиять процентное содержание и физико-механические свойства входящего в состав гранита калиевого полевого шпата, а гранит содержит до 50 % калиевого полевого шпата. Стоит обратить внимание, что калиевый полевой шпат хрупок. Большей частью зерна калиевого полевого шпата находятся между зернами плагиоклаза.

В скальных и полускальных породах при звуковых импульсах возникают три типа упругих волн: продольные p , поперечные s и поверхностные R . Скорости распространения продольных и поперечных волн являются основными характеристиками динамических свойств горных пород. Свойства гранита представлены в таблице 2.1.

В рамках данного моделирования рассматривается группа скважинных зарядов, параметры которых отражены в таблице 2.2 (рисунок 2.2).

Таблица 2.1 – Свойства гранита

Объемный вес, г/см ³	2,6
Скорость распространения продольной волны в массиве, м/с	4250
Коэффициент Пуассона	0,22
Модуль продольной упругости, кг/см ²	$6,2 \cdot 10^5$
Модуль сдвига, кг/см ²	$2,54 \cdot 10^5$
Модуль всестороннего сжатия, кг/см ²	$3,77 \cdot 10^5$
Скорость распространения продольной волны в массиве, м/с	2600
Акустическая жесткость, г/см ³ ·см/с	$13,5 \cdot 10^5$
Временное сопротивление сжатию, кг/см ²	1550
Временное сопротивление отрыву, кг/см ²	180

Таблица 2.2 – Параметры скважинных зарядов

Длина, м				Сетка скважин, м	ЛНС, м
заряда	забойки	перебура	скважины		
2,0	4,0	2,0	16,0	7x7	8,0

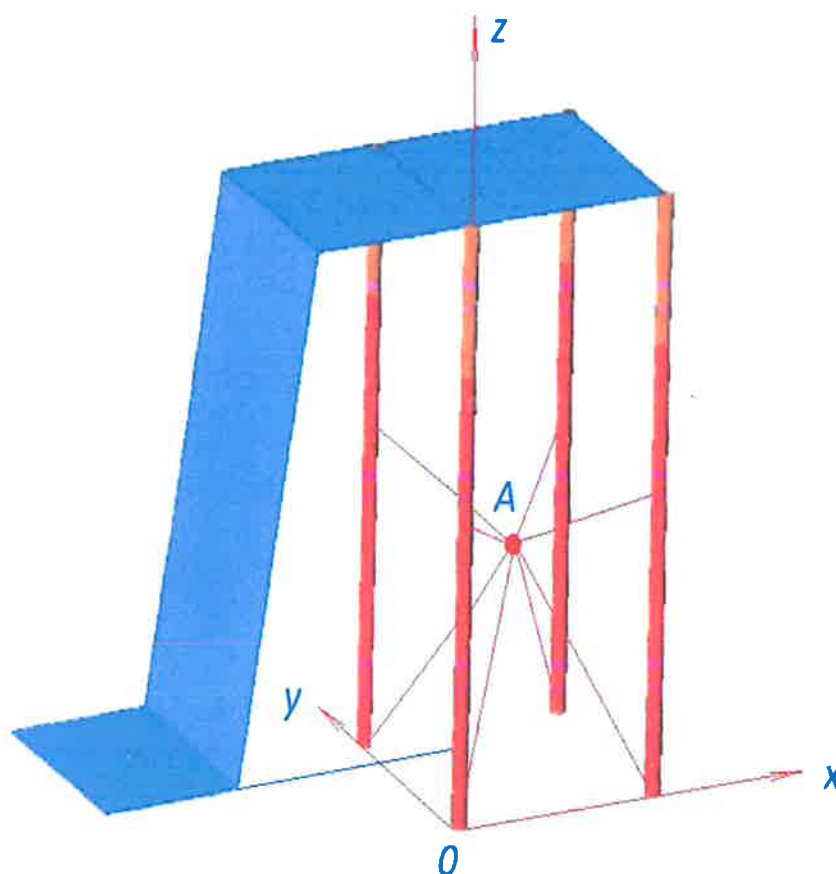


Рисунок 2.2 – Схема расположения скважинных зарядов при взрыве в трехмерном пространстве

2.3 Методика расчета параметров волн напряжений в зависимости от условий взрыва скважинных зарядов с учетом их взаимодействия

Методика расчета параметров волн напряжений в случае разрушения горных пород взрывом серией зарядов осевой симметрии с учетом их взаимодействия в данной работе основана на методе количественной оценки параметров волн напряжений, возникающих при взрыве одиночного заряда осевой симметрии [21], предложенном В.А. Боровиковым и И.Ф. Ванягиным.

На первом этапе при расчете поля напряжений при взрыве удлиненного заряда с помощью данного метода предлагается проводить по следующей схеме. Заряд представляется в виде непрерывного ряда элементарных сосредоточенных зарядов, инициируемых последовательно через равные промежутки времени Δt . Величина Δt определяется из условия равенства времени детонации сплошного заряда суммарному времени детонации единичных зарядов. Поле напряжений в заданной точке области определяется суммированием полей напряжений, создаваемых каждым элементарным зарядом. Форма элементарного заряда принимается сферической, так как в настоящее время как в теоретическом, так и в экспериментальном плане поле напряжений, вызванное взрывом зарядов сферической симметрии, является наиболее изученным. Волна напряжений, создаваемая каждым элементарным зарядом, принималась условно в виде короткой единичной волны, затухающей с увеличением расстояния от места взрыва за счет геометрии расхождения.

Количество элементарных зарядов n зависит от общей длины заряда L и длины элементарного заряда ΔL . Последняя выбирается из условия охвата детонацией участка заряда за время пробега детонационной волны от оси заряда к стене шпура и времени протекания химической реакции частиц ВВ во фронте детонационной волны, т.е. она определяется величиной диаметра удлиненного заряда и типом выбранного ВВ. В этом случае длина элементарного заряда ΔL может быть представлена в виде:

$$\Delta L = \tau_1 D + R_{03}, \quad (2.6)$$

где τ_1 - продолжительность химической реакции ВВ;

D - скорость детонации ВВ;

R_{03} - фактический радиус заряда ВВ.

При взрыве цилиндрического заряда фронт распространения поля напряжений принимает цилиндрическую форму, количественные параметры волн напряжений по окружности одинаковы, изменяются лишь их направления. Поэтому расчет параметров волн напряжений на первом этапе для каждого заряда можно производить в предположении, что заданная точка наблюдения A имеет координаты (r, y, z) , т.е. координата x принимается равной r рисунок 2.3.

На втором этапе для расчета параметров волн напряжений в случае разрушения горных пород взрывом серией зарядов осевой симметрии с учетом их

взаимодействия необходимо учитывать направление фронта распространения волн напряжений от каждого заряда.

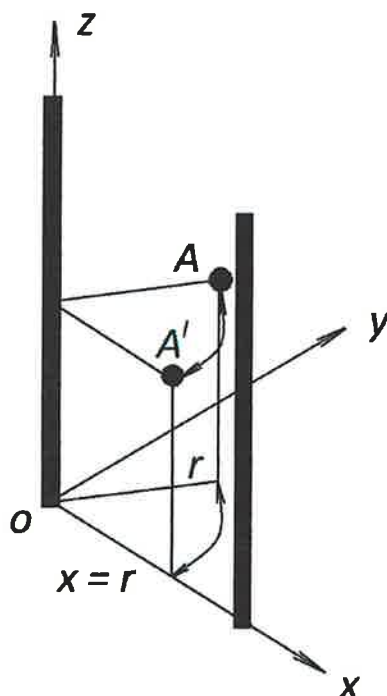


Рисунок 2.3 – Схема расчета поля напряжений, вызванного взрывом удлиненного заряда

Суммирование (принцип суперпозиции принят в запас) элементарных волн напряжений производится по времени t_k с некоторым временным шагом h . Отсчет начинается с момента времени прихода в заданную точку А элементарной волны от i -го заряда j -ой скважины, пришедшей первой, и заканчивается временем, соответствующим времени действия элементарной волны, пришедшей в заданную точку А последней.

При расчете параметров волн напряжений в случае разрушения горных пород взрывом серией зарядов с учетом их взаимодействия необходимо учитывать последовательность инициирования зарядов для правильного расчета времени прихода волны напряжений от каждого заряда.

В соответствии с изложенным достаточно просто получить необходимые расчетные зависимости для вычисления эпюры волны «напряжение-время» и все ее параметры в заданной точке наблюдения А. Для этого вводится система координат, связанная с зарядом - начало координат (точка О) располагается на верхнем конце первого заряда, в точке инициирования

Расстояние от i -го элементарного заряда до точки наблюдения в этой системе координат равно:

$$r_i = \sqrt{x^2 + \left[z - \left(i - \frac{1}{2} \right) \Delta L \right]^2}, \quad (2.7)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

В данном случае комбинированный заряд представляет собой заряд из трех слоев ВВ различной плотности: верхняя треть заряда имеет плотность 900 кг/м^3 , средняя - 1000 кг/м^3 нижняя - 1100 кг/м^3 .

Дифференцированное распределение энергии взрыва обеспечивается применением конструкции зарядов с переменной энергоемкостью. Так, при использовании комбинированных зарядов с изменяющимися энергетическими свойствами по длине скважины, скорость детонации меняется плавно по высоте.

Данная методика расчета параметров волн напряжений дает возможность получить данные о волновом поле напряжений в любой момент времени с учетом конечной длины заряда и времени прохождения детонации по заряду при взрыве как одиночной, так и группы скважин.

3 Исследование волнового поля напряжений в массиве горных пород в зависимости от параметров буровзрывных работ

При производстве массовых взрывов необходимо обеспечить следующие требования [21]:

- качественное дробление горной массы (заданный гранулометрический состав взорванной горной массы);
- проработка подошвы уступа;
- минимальное нарушение целостности законтурной части массива;
- формирование компактного навала отбитой горной массы;
- защита близкорасположенных объектов от сейсмического воздействия взрыва, воздействия ударно-воздушной волны и разлета кусков породы.

Необходимо отметить, что существует большой набор различных параметров процесса дробления пород взрывом, каждый из которых оказывает существенное влияние на конечный результат. Качественное дробление достигается только тогда, когда выбранные значения всех этих параметров находятся в рациональной области.

Вывода из рациональной области даже одного параметра, причем любого из них, оказывается вполне достаточным для резкого ухудшения качества взрыва. Поэтому особый интерес представляет собой характер изменения волнового поля напряжений в зависимости от различных параметров БВР.

Для выявления наиболее важных параметров, изменение которых производит наиболее существенный эффект на характер волнового поля напряжения, были проанализированы результаты теоретических изучений других исследователей с учетом предложенной методики расчета параметров волн напряжений.

На параметры волнового поля напряжения при взрывной отбойке горной массы влияют, прежде всего, такие параметры БВР, как диаметр заряда, схема инициирования, время замедления, плотность заряжения, сетка скважин.

Удельный расход ВВ, определяющий интегральный запас энергии заряда, является одним из основных факторов, непосредственно влияющий на качество дробления горных пород. Это обстоятельство приводит в ряде случаев к переоценке роли удельного расхода ВВ и к неправильному мнению о том, что только за счет изменения удельного расхода ВВ возможно добиться любого желаемого качества дробления. Это подтверждают исследования [22], а именно: регулирование степени дробления трещиноватых пород взрывом за счет изменения удельного расхода ВВ имеет хотя и широкие, но все же ограниченные возможности, так как превышение некоторого значения удельного расхода ВВ, зависящего от свойств пород, параметров БВР и других условий, не обеспечивает заметного повышения степени дробления, а приводит к резкому удорожанию БВР.

Таким образом, повышение эффективности взрыва при разрушении горных пород можно достичь (при условии сохранения или снижения удельного

расхода ВВ) в основном за счет увеличения доли полезно используемой энергии взрыва.

3.1 Влияние интервала замедления между зарядами на характер изменения параметров волн напряжений

В последние годы короткозамедленное взрывание зарядов (КЗВ) широко применяется на открытых горных работах. Часто объясняют эффект КЗВ следующими факторами:

- при КЗВ происходит интерференция волн напряжений (наложение упругих колебаний в массиве горных пород);
- к моменту взрыва зарядов последующей ступени образуются новые обнаженные поверхности от взрыва зарядов предыдущей ступени замедления;
- соударение кусков породы, отбитых зарядами различных ступеней замедления.

Существует достаточно много схем для определения интервала замедления при КЗВ, однако представляет особый интерес сопоставление интервала замедления с временными параметрами волн напряжений.

На основе предложенной методики расчета параметров волн напряжений были получены зависимости «напряжение-время» при интервалах замедления равных 3, 5 и 10 мс комбинированных зарядов рисунок 3.1, 3.2. Точки наблюдения А (х, у, z) расположены на уровне верхней и нижней частей зарядов ВВ. Эпюры получены для радиальной σ_x и тангенциальной σ_y составляющих напряжений. Зависимости «напряжение-время» без замедления для комбинированных зарядов радиальная и тангенциальная составляющих.

Инициирование рассматривалось обратное, поскольку исследования показывают, что нижнее инициирование обеспечивает заметно более выгодное распределение удельных импульсов, поэтому поле напряжений распределяется более равномерно по всей высоте уступа, чем обеспечивается одновременность прихода волны к обеим обнаженным поверхностям уступа и, как следствие, приводит к более интенсивному дроблению горных пород. Параметры зарядов представлены в таблице 3.1.

Комбинированный заряд представляет собой заряд ВВ с изменяющимися энергетическими свойствами по длине скважины рисунок 3.2. Заряд разделен на три одинаковых по длине слоя разного ВВ: верхняя часть - с меньшими энергетическими свойствами, средняя - с такими же, как и у сплошного заряда, нижняя - более высокими энергетическими свойствами ВВ таблице 3.1.

Исходя из полученных данных, можно отметить, что продолжительность действия волны напряжений оказывается значительно меньше, чем применяемые на практике интервалы замедления, т.е. заряды взрывают с такими интервалами, что волна от взрыва предыдущего заряда не влияет на волну от последующего, и колебания массива прекращаются. Так длительность действия волны напряжений для данного случая составляет меньше 5 мс, а интервалы замедления, составляют 25 мс и более.

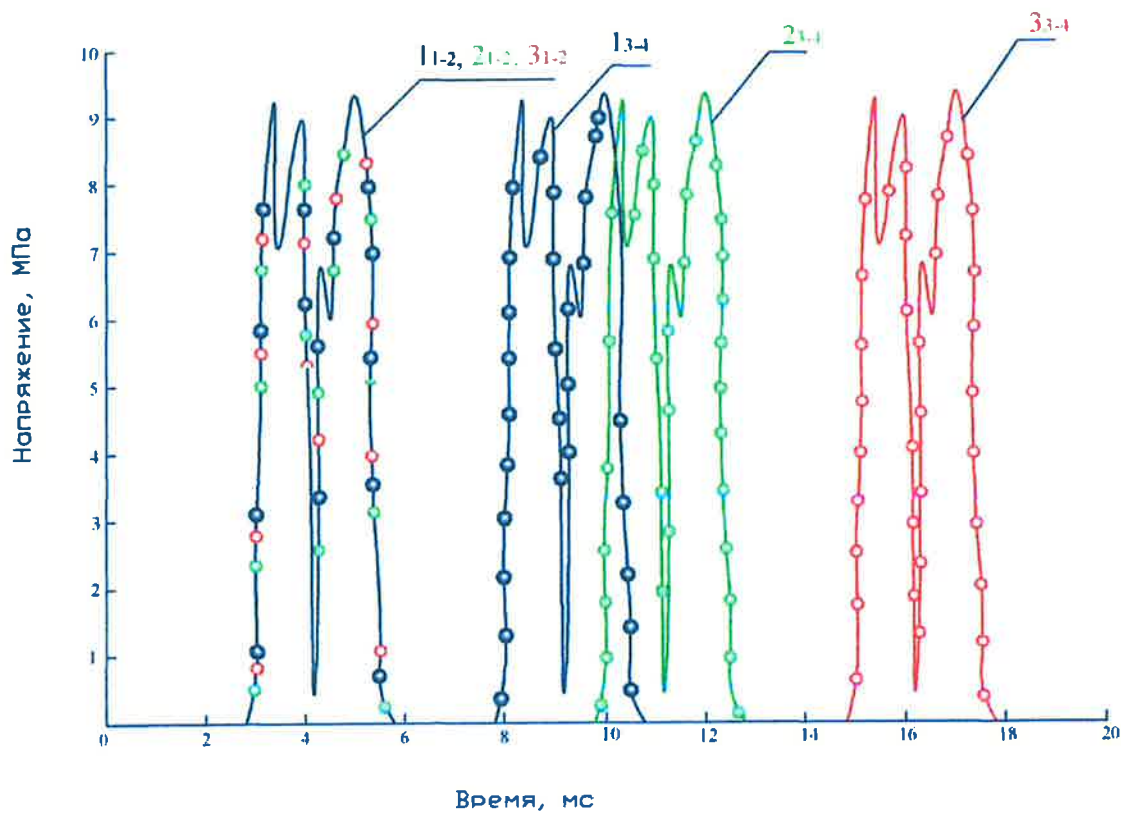
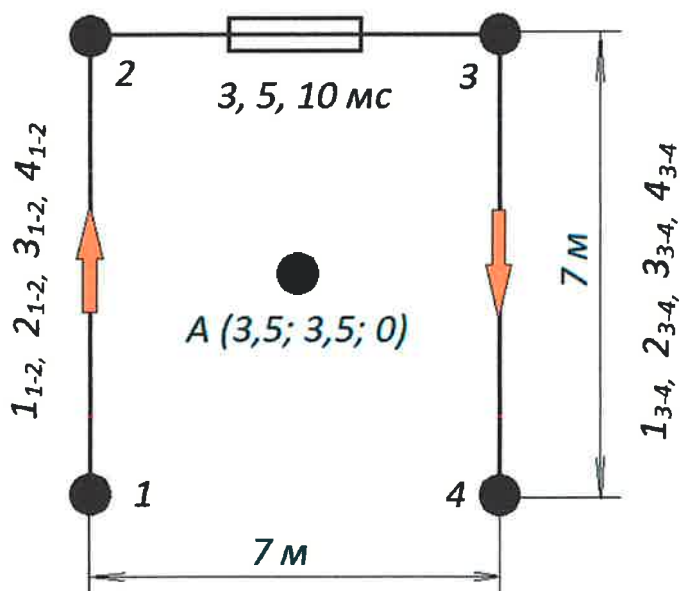


Рисунок 3.1 - Эпюра «напряжение-время» радиальной составляющей волны при взрыве комбинированных зарядов с интервалом замедления



1–3 мс; 2–5 мс; 3–10 мс; А (3,5; 3,5; 0);
сетка скважин = 7 х 7 м; длина заряда $L_{зар} = 12$ м

Рисунок 3.2 – Схема замедления комбинированных зарядов

Таблица 3.1 – Параметры комбинированных зарядов

Сетка скважин, м	7 x 7
Длина скважины L , м	16,0
Длина заряда $L_{зар}$, м	12,0
Диаметр заряда d , м	0,250
Время прохождения волны по ДПП длиной 7 м, мс	1,0
Верхняя 1/3 заряда	
Плотность заряжания $\rho_{вв}$, кг/м ³	900
Скорость детонации по заряду D , м/с	3800
Теплота взрыва Q , КДж/кг	2800
Средняя 1/3 заряда	
Плотность заряжания $\rho_{вв}$, кг/м ³	1000
Скорость детонации по заряду D , м/с	4000
Теплота взрыва Q , КДж/кг	3600
Нижняя 1/3 заряда	
Плотность заряжания $\rho_{вв}$, кг/м ³	1100
Скорость детонации по заряду D , м/с	4200
Теплота взрыва Q , КДж/кг	4600

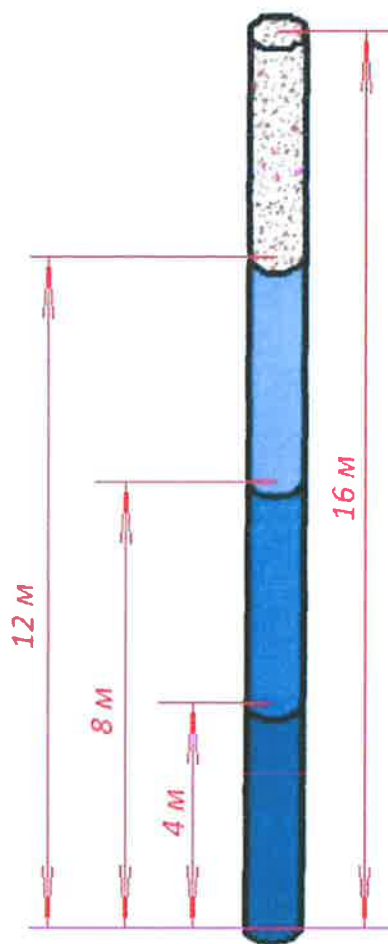


Рисунок 3.2 – Конструкция комбинированного заряда

Поиск рациональных конструкций зарядов при дроблении горных пород взрывом определяется необходимостью повышения коэффициента полезного

действия (КПД) взрыва, качеством проработки уступа, а также получением необходимой кусковатости взорванной горной массы. В настоящее время увеличение доли полезного использования взрыва достигается за счет применения различных конструкций зарядов и типов ВВ, позволяющих дифференцированно подойти к распределению объемной концентрации энергии скважинного заряда [23, 24, 25, 26]. За основу принимается идея изменения механизма передачи энергии окружающей твердой среде при взрыве, реализуемая на принципе применения комбинированных зарядов с заданными энергетическими свойствами.

Необходимость регулирования объемной концентрации энергии обусловлена, прежде всего, неравномерностью сопротивления массива действию взрыва за счет его геометрических параметров и физических свойств горных пород.

На некоторых карьерах достаточно широко применяются сплошные скважинные заряды, требующие для достижения заданной степени дробления повышенного удельного расхода ВВ.

Несмотря на то, что сплошные скважинные заряды являются традиционными и наиболее исследованными, они наименее эффективны с точки зрения механики дробления. Двухмерное движение твердой среды, окружающей сплошной скважинный заряд, при инициировании его в одной точке характеризуется большими градиентами давления и, как следствие, значительным переизмельчением породы, что и обуславливает интенсивную диссипацию энергии, особенно в ближней к заряду зоне.

Сравнение зависимостей амплитуд волны напряжений при взрыве исследуемых конструкций зарядов показало, что только зарядами с переменной плотностью возможно дифференцированно распределять энергию по высоте, при этом для одинаковых условиях взрывания значения максимальной амплитуды волны напряжения при использовании зарядов с заданными энергетическими свойствами в донной части заряда на 10-25% выше, а в верхней части - на 5-10% ниже максимальных значений амплитуды волны напряжений при использовании сплошных зарядов в средней зоне взрыва.

3.2 Волновое поле напряжений при различных параметрах БВР

На основе полученных данных особый интерес представляет рассмотрение характера изменения волнового поля напряжения при учете всех предложенных рекомендаций. Рассматриваются два поля напряжений.

Первое - при взрыве сплошных скважинных зарядов длиной $L = 12$ м, диаметром $d = 0,250$ м. Сетка скважин = 7×7 м, плотность $\rho_{\text{ВВ}} = 1000$ кг/м³, скорость детонации $D = 4000$ м/с, теплота взрыва $Q = 3600$ КДж/кг. Время прохождения волны по ДШ длиной 7 м - 1 мс. Волновое поле напряжений рассмотрено в момент времени $t = 3$ мс при $t_{\text{зам}} = 6$ мс и $z=0$ м рисунок. 3.3.

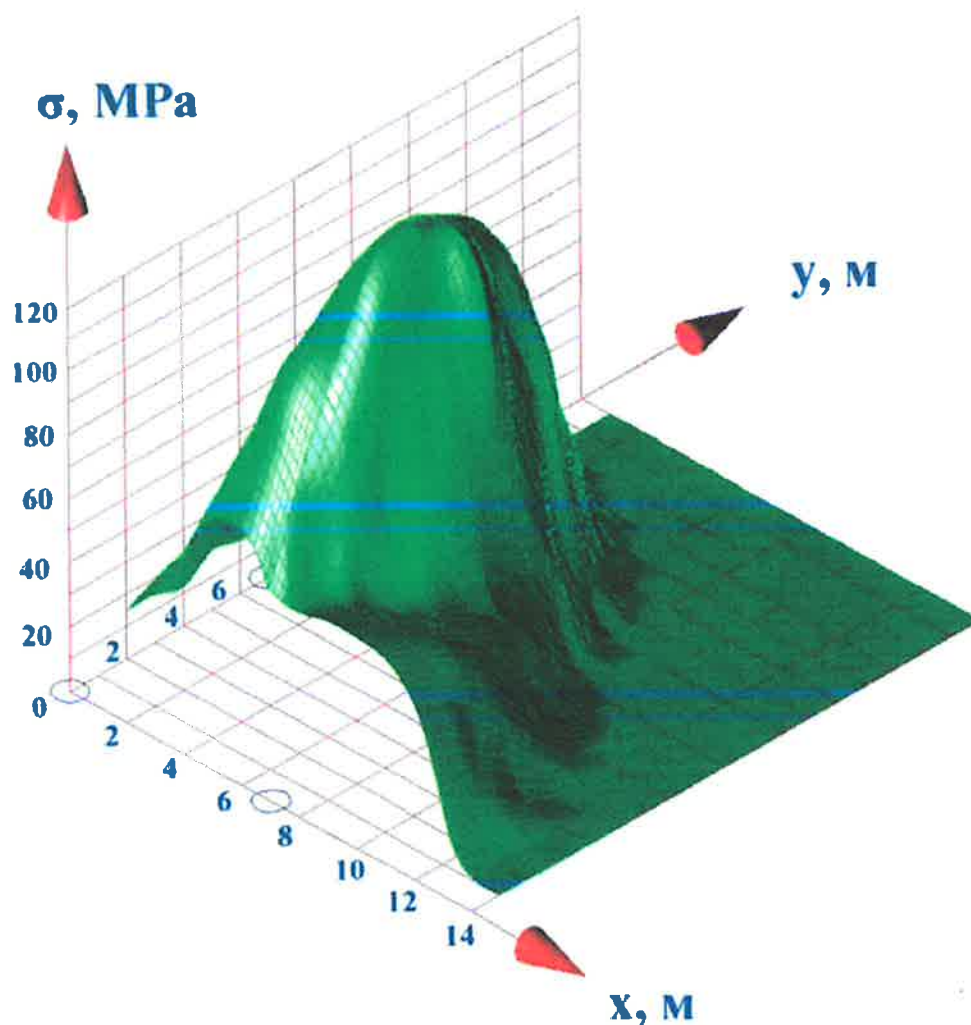


Рисунок 3.3 – Волновое поле напряжений при взрыве сплошных зарядов при $t=3$ мс и $z=0$ м

Второе - при взрыве комбинированных скважинных зарядов длиной $L = 12$ м, диаметром $d = 0,165$ м, сетка скважин = 5×5 м. Параметры первого нижнего слоя: плотность $\rho_{\text{вв}} = 1100$ кг/м³, скорость детонации $D = 4200$ м/с, теплота взрыва $Q = 4600$ КДж/кг. Параметры среднего слоя: плотность $\rho_{\text{вв}} = 1000$ кг/м³, скорость детонации $D = 4000$ м/с, теплота взрыва $Q = 3600$ КДж/кг. Параметры третьего верхнего слоя: плотность $\rho_{\text{вв}} = 900$ кг/м³, скорость детонации $D = 3800$ м/с, теплота взрыва $Q = 3600$ КДж/кг. Время прохождения волны по ДШ длиной 7 м - 1 мс.

Волновое поле напряжений рассмотрено в момент времени $t = 3$ мс при $t_{\text{зам}}=6$ мс и $z=0$ м рисунок 3.4.

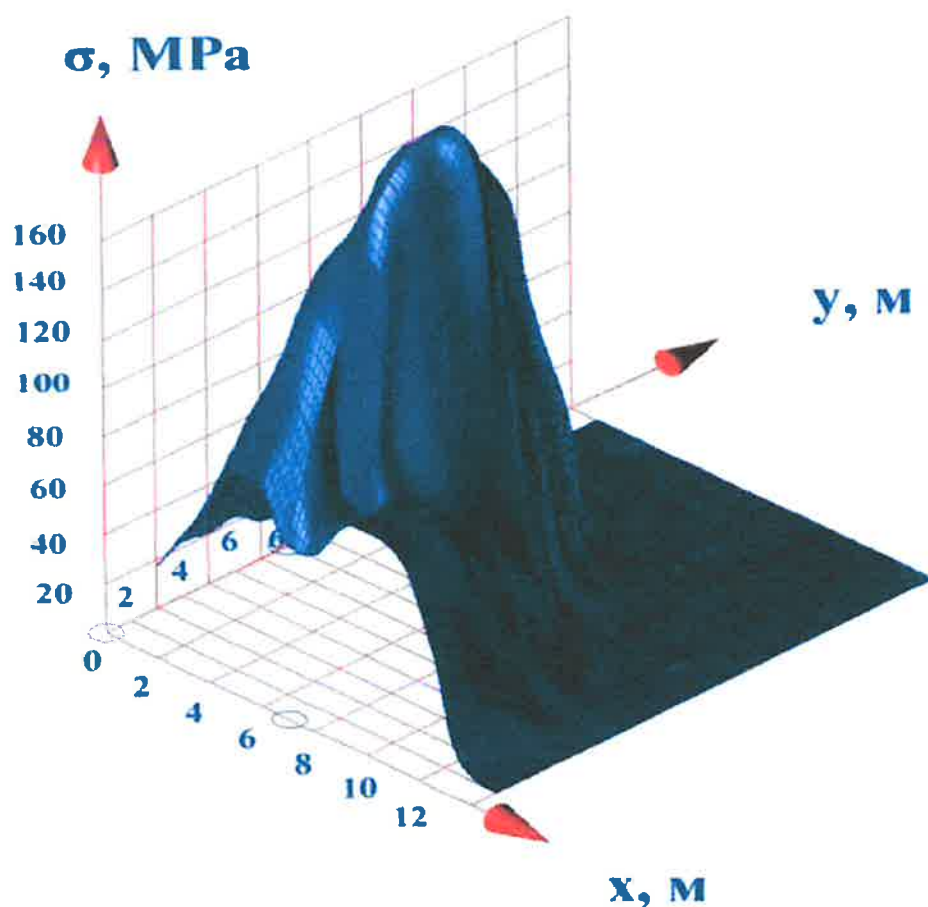


Рисунок 3.4 – Волновое поле напряжений при взрыве комбинированных зарядов при $t=3$ мс и $z=0$ м

Применение данной модели позволяет произвести несложный анализ взрывного дробления массива горных пород в производственных условиях.

Так, с целью поиска наиболее эффективного варианта использования динамических напряжений в трехмерном пространстве при производстве буровзрывных работ можно варьировать такими параметрами, как сетка скважин, расстояние между скважинами в ряду, расстояние между рядами, тип ВВ, форма заряда. Таким образом, решение конкретной производственной задачи на основе данной модели, в конечном итоге, позволяет выбрать для данного объекта вариант, при котором разрушающий эффект взрыва ВВ будет оптимальным.

4 Исследование влияния зарядов с заданными энергетическими свойствами на качество взрывоподготовки горной массы при уступной отбойке гранитов в условиях карьера Жельтауского месторождения

4.1 Горно-геологические условия месторождения и физико-механические свойства слагающих его пород

Жельтауское месторождение гранитов расположено в 5 км к северу от 31 км дороги Мирный-Акбакай, в 300 км к западу города Алматы.

По петрографическому составу породы, слагающие месторождение, представляют собой массивные крупно- и грубозернистые биотитовые граниты. По окраске выделяются светло-розовые светло-коричневые с розоватым оттенком разновидности гранитов. При изучении под микроскопом в шлифах отмечается их общий лейкократовый характер.

Граниты Жельтауского месторождения имеют относительно выдержанные физико-механические свойства, петрографический и химический состав. По трещиноватости (расстояниям между трещинами, формам образующихся блоков, частоте встречающихся трещин, выходу ожидаемых блоков и т.д.) месторождение также относится к выдержанным. По геологическому строению, залеганию полезного ископаемого и пород вскрыши месторождение является простым.

В результате исследования установлено, что объемная масса и плотность гранитов по интервалам и участкам остаются относительно постоянными и близки к средним значениям по месторождению в целом и составляют: объемная масса – от 2,58 до 2,63 г/см³ (среднее значение – 2,60 г/см³), плотность – от 2,61 до 2,65 г/см³ (среднее значение – 2,63 г/см³).

Полезная толща гранитов Жельтауского месторождения является залежью массивной крупнозернистой породы, однотипной по своим текстурным, структурным особенностям и физико-механическим свойствам. Участок представляет собой не расчлененную поверхность с относительными колебаниями ее высот до 0,5–1,0 м.

Продуктивная толща представлена однородным по структурным и текстурным особенностям телом, сложенным массивными породами – гранитов с повышенной трещиноватостью в приповерхностной зоне, развитой, в основном до глубины 0,5–1,0 м.

Вскрышными породами является скальная и рыхлая вскрыша мощностью в среднем 0,95 м. Коэффициент вскрыши на отработку всех запасов – 0,01 м³/м³, а проектируемого карьера – 0,25 м³/м³ (контрактный период отработки).

Породы месторождения относятся к IX–X категориям по буримости.

По сейсмичности район относится к стабильной зоне. И к слабой трещиноватости и незначительной обводненности возможность возникновения оползневых и селевых явлений отсутствует. Таким образом, горнотехнические

условия месторождения благоприятны для его разработки открытым способом.

На площади месторождения подземные воды представлены обводненной зоной трещиноватости интрузивных пород кислого состава. Четвертичный покров отличается малой мощностью, сложен водопроницаемыми суглинками, супесями и дресвой гранитов и является безводным. Водовмещающие породы представлены крупнозернистыми гранитами. Трещиноватость в гранитах развита неравномерно, что обуславливает и их неравномерную обводненность.

Щебень, изготовленный из пород месторождения, по всем показателям соответствует требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ» может быть использован в качестве крупного наполнителя для всех видов тяжелого бетона сборных и монолитных конструкций изделий и деталей, в бетоны для оснований усовершенствованных капитальных покрытий и нижнего слоя двухслойных покрытий автомобильных дорог.

4.1.1 Горнотехническая характеристика месторождения. Параметры карьера и горнотранспортное оборудование

Месторождение разрабатывается открытым способом. Система разработки карьера - заходками, продвигающимися параллельно фронту вскрышных и добычных работ. Разработка производится по цикличной технологии с размещением вскрышной породы во внешние отвалы.

Вскрытие принимается посредством проходки въездной траншеи и первоначальной рабочей площадки. Длина траншеи 158 м, уклон 0,07, ширина 25 м, объем проходки 26 тыс.м³. Параметры первоначальной рабочей площадки 60 х 66 м, объем 44 тыс.м³.

Разработка месторождения ведется четырьмя добычными уступами, а горизонт 11-14 м находится в стадии вскрытия.

Фактическая высота уступов по горизонтам карьера на основании маркшейдерских данных, которые приняты в плане горных работ на 2020 год – в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Высота уступов

№	Горизонт, м	Пределы изменения высота уступа, м	Объем, т.м ³
1	+62	5,0-10,0	50
2	+50	9,0-15,0	160
3	+38	11,0-12,5	175
4	+26	12,0-14,0	395
5	+11	12,0	120

4.2 Существующая технология и параметры буровзрывных работ на гранитом карьере Жельтауского месторождения

Разрыхление скальных пород гранитов IX-X категории по СНиПу Жельтауского месторождения производится методом скважинных зарядов.

Скважины применяются вертикальные. Минимальная ширина рабочей площадки составляет 60 м. Добычные работы производятся с предварительным рыхлением породы с помощью буровзрывных работ методом скважинных зарядов.

Скважины бурятся станками СБШ-250МНА и станками СНА-1000/88 финской фирмы диаметром скважин 88–90 мм и буровым станком СБУ-100Г диаметром скважин 105 мм.

Для взрывания негабаритов в зависимости от условий производства работ могут применяться следующие средства взрывания: детонирующий шнур, электродетонаторы мгновенного и короткозамедленного действия.

Вскрытие принимается посредством проходки въездной траншеи и первоначальной рабочей площадки. Длина траншеи 158 м, уклон 0,07, ширина 25 м.

В качестве породоразрушающего инструмента используются шарошечные долота типа ОКП диаметром 244,5 мм.

Выход негабарита (в ребре более 1 м) - 10–12%. Дробление негабарита осуществляется методом шпуровых (50%) и наружных (50%) зарядов. Дробление валунных камней, встречающихся при ведении вскрышных работ, производится методом наружных или шпуровых зарядов. Выравнивание подошвы уступа до проектной отметки осуществляется скважинными зарядами. На бурение скважин используется буровой станок СБУ-100Г.

Разрыхленное взрывом полезное ископаемое отгружается экскаваторами ЭКТ-5А в автосамосвалы и вывозится на завод для производства щебня.

При постановке уступа в конечное положение для обеспечения его устойчивости применяется метод контурного взрывания скважин диаметром 105 мм с использованием станка СБУ-100Г и финского станка TAMROK СНА-1000/88. Эти же станки используются при разработке первого горизонта и небольших уступов, подступов и порогов при выравнивании подошвы уступа.

Завоз взрывчатых материалов на карьер производится со склада ВМ.

Режим работы участка БВР - односменный с пятидневной рабочей неделей. Продолжительность рабочей смены - 8 часов. Общее количество рабочих дней в году на взрывных работах - 252. Взрывные работы выполняются с 14 до 16 часов в зимний период и с 14 до 17 часов в летний период. Необходимый запас взорванной массы - 15 дней.

Режим производства массовых взрывов - 1-2 раза в месяц, взрывные работы по разделке негабарита - ежедневно по мере необходимости.

Учитывая свойства взрывааемых пород, производительность карьера, систему разработки, требуемую степень дробления, а также практику работы ка-

рьера, в качестве основного метода взрывных работ применяется наиболее эффективный для этих условий метод вертикальных скважинных зарядов при их многократном расположении и короткозамедленном взрывании.

Тип ВВ и СИ выбирают в зависимости от крепости пород, их обводненности, метода и условий ведения взрывных работ с соответствием с Перечнем рекомендуемых промышленных ВВ и СИ, на которые имеются ГОСТы, ОСТ, или утвержденные в установленном порядке технические условия, а также журнальные постановления Комитета ПБ МЧС РК. При этом в качестве основного фактора принимается экономическая эффективность.

Исходя из этого, в качестве взрывчатых веществ при дроблении гранитов предусматриваются следующие ВВ:

1. в сухих скважинах: граммонит 79/21, аммонит 6ЖВ порошок, в верхней части скважин с комбинированием с другими ВВ может применяться аммиачная селитра; в случае отсутствия вышеуказанных ВВ в сухих скважинах может применяться Граммонит 30/70, Гранулотол.

2. в обводненных скважинах: Гранулотол, Гранипор ФМ и другие водостойчивые взрывчатые вещества.

3. для разделки негабаритов применяется аммонит 6ЖВ (патронированный), аммонал в пакетах весом один или два килограмма.

Используются также тротилловые шашки Т-400Г и ТГ-500 и патронированный аммонит 6ЖВ.

В качестве средств инициирования (СИ) предусматривается применение:

- детонирующие шнуры типа ДШЭ-12, ДШЭ-6, РП-8М;
- электродетонаторы короткозамедленного действия типа ЭДКЗПКМ,

Короткозамедленное взрывание скважинных зарядов осуществляется двумя способами: электрический способ взрывания с помощью детонирующего шнура, инициирование последнего – электродетонаторами короткозамедленного действия (ЭДКЗ); бескапсюльный способ с использованием детонирующего шнура (типа ДШЭ-12, ДШЭ-6), пиротехническое реле (РП-8М), инициирование детонирующего шнура – электродетонаторами мгновенного или короткозамедленного действия.

При взрывании негабарита методом наружных и шпуровых зарядов, а также при взрывании скважинных зарядов глубиной скважин не более 1,5 м для выравнивания подошвы уступа, применяется электрический способ взрывания с использованием электродетонаторов мгновенного и короткозамедленного действия.

Дробление горных пород на карьере осуществляются взрывным способом. Месторождение отрабатывается уступами высотой 14-16 м. Заряды ВВ размещаются в скважинах диаметром от 115 до 250 мм. Средний расход ВВ составляет от 0,9–0,97 кг/м³, схема инициирования диагонально-клиновая. В качестве забойки скважинных зарядов применяется буровой шлам.

Максимальная передача энергии продуктов взрыва разрушаемому массиву может быть достигнута за счет их заперения в скважине на время, достаточное для полного разрушения горных пород. Задержка истечения газообразных продуктов взрыва может быть осуществлена путем применения различных видов забоек.

Наиболее распространена традиционная забойка из песка или буровой мелочи. Однако время задержки продуктов детонации при данной конструкции заряда составляет 7-8 мс, что не всегда является достаточным для максимально возможной передачи энергии разрушаемому массиву. При существующей технологии производства БВР средний размер куска составляет 420-430 мм, а выход негабарита 10-12%. Чтобы улучшить качество взрывоподготовки горной массы, необходима при расчете параметров буровзрывных работ учитывать взаимосвязь энергетических параметров взрывчатых веществ с волновым полем напряжений в разрушаемом массиве горных пород с конкретными физико-механическими свойствами. Это достигается за счет применения комбинированных зарядов с заданными линейно-энергетическими свойствами.

Для проведения промышленных испытаний был выбран рабочий блок рисунок 4.1 и 4.2. На уступе выбралось два расположенных рядом блока. Общие данные по блокам приведены в таблице. 4.2.

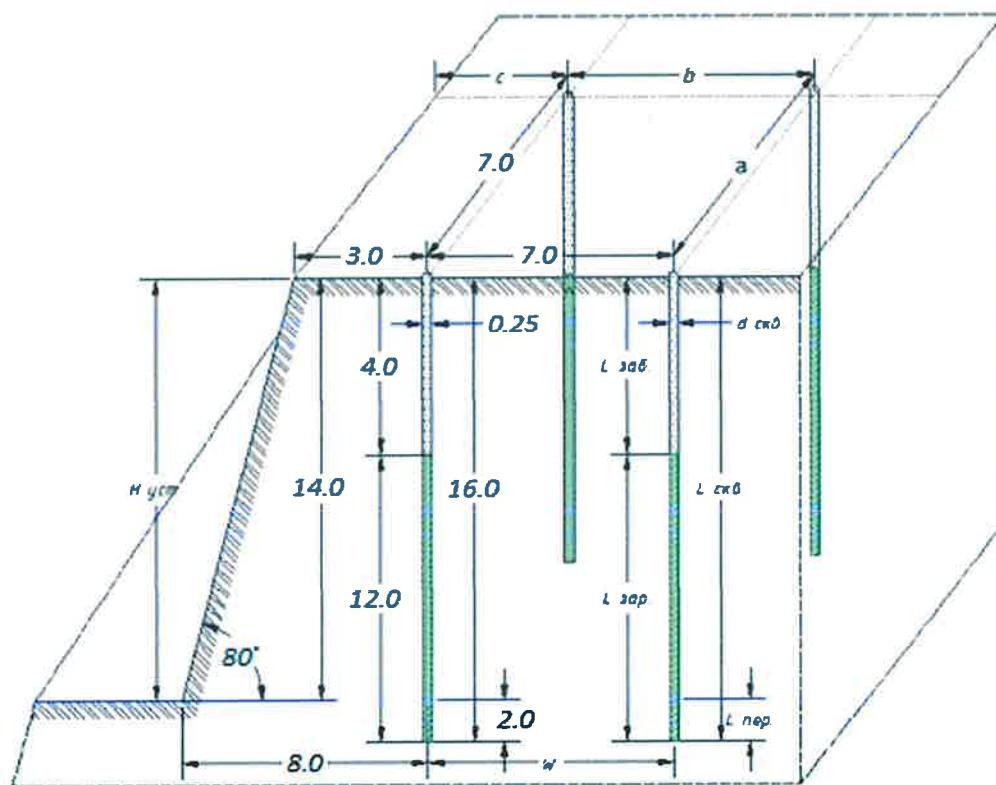
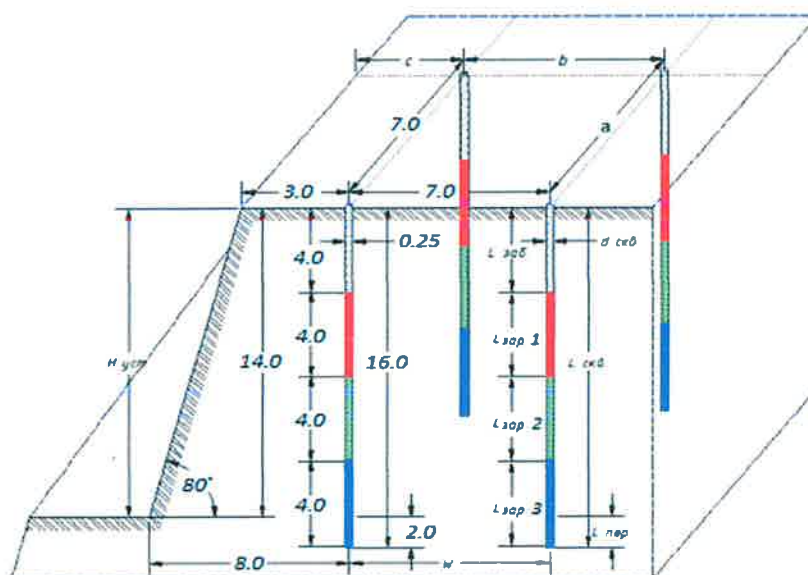


Рисунок 4.1 - Схематичное расположение скважинных сплошных удлиненных зарядов

Таблица 4.2 – Параметры БВР опытных блоков

№	Параметры	Блок 1	Блок 2
1	2	3	4
1	Порода	гранит	гранит
2	Диаметр скважин, м	0,25	0,25
3	Высота уступа, м	14,0	14,0
4	Сетка скважин, м	7 x 7	7 x 7
5	Угол откоса уступа, град.	80,0	80,0
6	ЛНС, м	8,0	8,0
7	Величина перебура, м	2,0	2,0
8	Проектный объем взрывае- мого блока, м ³	20000,0	22000,0
9	Количество рядов скважин	7,0	8,0
10	Количество скважин, шт	105,0	115,0
11	Глубина скважин, м	14,0–16,0	14,0–16,0
12	Параметры заряда	Граммонит 79/21 $\rho_{\text{вв}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ $D = 4000 \text{ м/с}$ $Q = 3600 \text{ КДж/кг}$	Верхняя 1/3 заряда Аммиачная селитра: $\rho_{\text{вв}} = 900 \text{ кг/м}^3$ $D = 3800 \text{ м/с}$ $Q = 2800 \text{ КДж/кг}$
			Средняя 1/3 заряда Граммонит 79/21 $\rho_{\text{вв}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ $D = 4000 \text{ м/с}$ $Q = 3600 \text{ КДж/кг}$
			Нижняя 1/3 заряда Гранулотол $\rho_{\text{вв}} = 1100 \text{ кг/м}^3$ $D = 4200 \text{ м/с}$ $Q = 4600 \text{ КДж/кг}$



Опытно-промышленные взрывы проводились на одном блоке, который делился на две части. Одна часть блока заряжалась сплошными зарядами, вторая – комбинированными. В качестве зарядов использовались штатные ВВ, имеющиеся на предприятии: сплошной заряд - граммонит 79/21; комбинированный: верхняя треть заряда - аммиачная селитра, середина - граммонит 79/21 и нижняя треть заряда - гранулотол. Схема инициирования в обоих случаях была одинаковая, диагонально клиновая. Было проведено четыре опытных массовых взрывов.

После взрыва проводился гранулометрический анализ взорванной горной массы - фотопланиметрическим и количественным анализом.

Физико-механические свойства массива горных пород (трещиноватость, блочность, крепость и т.д.) сравниваемых блоков были одинаковыми. Параметры буровзрывных работ для взрывааемых блоков отличались лишь конструкцией зарядов (блок 1 - сплошной заряд, а блок 2 - комбинированный).

Как видно из полученных результатов, среднегеометрический размер куска взорванной горной массы для блока при использовании комбинированного заряда равен 220 мм, этот же показатель для блока со сплошным зарядом - 325 мм. Эти результаты свидетельствуют о повышении качества дробления массива горных пород при применении конструкций зарядов с заданными линейно-энергетическими свойствами примерно на 15–20%.

Также проводился количественный анализ выхода негабарита рисунок 4.3 и 4.4. После работы экскаватора измерялись размеры негабарита: измерялась длина, ширина и толщина. Затем находился объем каждого негабарита в отдельности. Для каждого блока исследуемый объем составляет 3500 м³. Анализ результатов обработки замеров свидетельствует о почти двойном уменьшении выхода негабарита при использовании комбинированных зарядов по сравнению со сплошными.

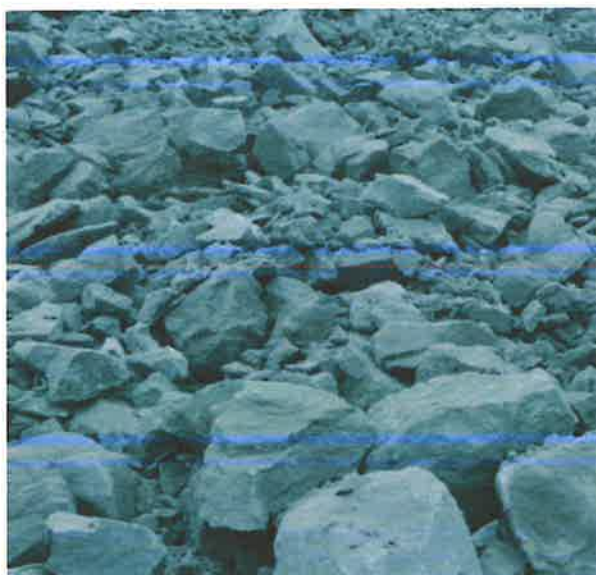


Рисунок 4.3 – Гранулометрический состав горной массы при использовании сплошных зарядов

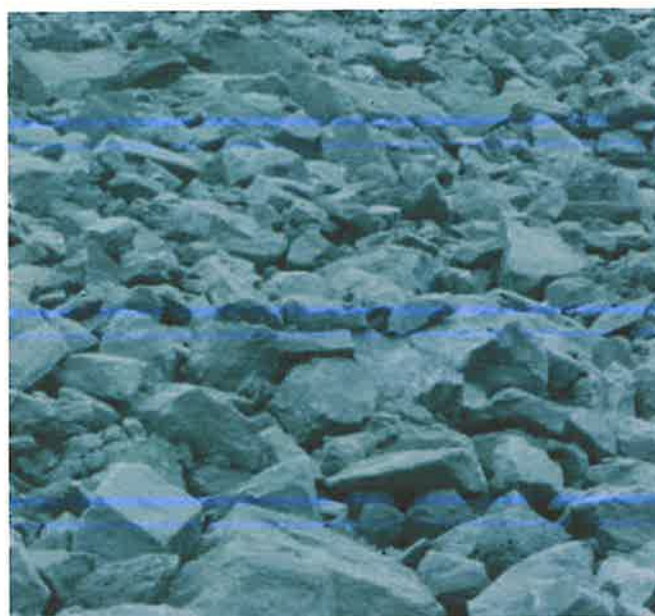


Рисунок 4.4 – Гранулометрический состав горной массы при использовании комбинированных зарядов

4.3 Экономическая оценка эффективности работы горного оборудования по результатам полученного распределения грансостава горной массы

При дроблении крепких горных пород, (VI-VII категории по взрываемости) скважинными зарядами с заданными энергетическими свойствами на карьере Жельтауского месторождения выход фракций размером менее 400 мм увеличился в 1,2-1,3 раза, а выход негабаритных кусков снизился с 12 до 8%, что позволило увеличить техническую производительность экскаватора в 1,3-1,5 раза.

Удельная экономия от применения зарядов предложенной конструкции за счет повышения производительности экскаваторов можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{эк}} = \left(\frac{C_{\text{мс}}}{P_1} - \frac{C_{\text{мс}}}{P_2} \right), \text{ тг/м}^3, \quad (4.1)$$

где $C_{\text{мс}}$ - стоимость машино-смены экскаватора, тг/смена;

P_1 и P_2 - среднемесячная сменная производительность соответственно до и после внедрения, м³/смена.

Сменная стоимость машино-смены экскаватора на карьере составляет 252983 тг, среднемесячная сменная производительность до внедрения комбинированных зарядов - 486 м³/смена.

При разборке экспериментального блока производились замеры отгруженной горной массы на дробильно-сортировочном заводе, по которым определялась производительность экскаватора за месяц. Результаты замеров показали, что ежедневная производительность увеличилась на $0,45 \text{ м}^3$ и составила $495,3 \text{ м}^3/\text{смена}$.

Соответственно, удельная экономия от применения комбинированных зарядов за счет повышения производительности экскаваторов составит:

$$\mathcal{E}_{\text{эк}} = \left(\frac{252983}{486} - \frac{252983}{495,3} \right) = 9,7 \text{ тг/м}^3.$$

Удельная экономия в результате снижения затрат по дроблению негабаритных кусков породы составит:

$$\mathcal{E}_{\text{н}} = \frac{C_{\text{н}}(n_1 - n_2)}{100}, \text{ тг/м}^3, \quad (4.2)$$

где $C_{\text{н}}$ - стоимость дробления негабаритных кусков горной породы, тг/м³.

Для условий карьера «Жельтау» стоимость дробления негабаритных кусков составляет 375 тг/м^3 ;

n_1 и n_2 - выход негабаритных кусков породы соответственно до и после внедрения, составляет 4 и 8% соответственно. Тогда удельная экономия за счет снижения выхода негабарита равно:

$$\mathcal{E}_{\text{н}} = \frac{375(8 - 4)}{100} = 15 \text{ тг/м}^3.$$

Общая удельная экономия от внедрения предлагаемой конструкции скважинного заряда рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{эк}} + \mathcal{E}_{\text{н}} = 9,7 + 15 = 24,7 \text{ тг/м}^3.$$

Для повышения качества дробления горной массы при производстве массовых взрывов на карьерах строительных материалов обоснованы конструкции зарядов с заданными энергетическими параметрами. Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что при применении рекомендуемой конструкции зарядов по сравнению со штатной снижается выход негабарита на 30 %, отсева - на 10 %, уменьшается средний размер куска с 425 мм до 340 мм, улучшается проработка подошвы уступа.

Общая удельная экономия от внедрения предлагаемой конструкции скважинного заряда составляет $14,7 \text{ тг/м}^3$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая магистерская диссертационная работа представляет собой законченную научно-исследовательскую квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной для карьеров добычи строительного камня задачи – повышение эффективности отбойки горных пород на основе выбора оптимальных параметров динамического нагружения горного массива и использования рациональных конструкций зарядов с заданными энергетическими свойствами.

Основные результаты научных исследований:

1) разработана методика расчета параметров волн напряжений для зарядов цилиндрической симметрии, с учетом влияния распределения энергии ВВ по длине заряда, времени замедления, диаметра заряда при взрыве системы зарядов;

2) выполненные расчеты параметров волн напряжений в гранитном массиве для штатных (сплошных) и рекомендованных комбинированных зарядов с заданными энергетическими свойствами позволяют прогнозировать распределение энергии взрыва во взрываемом блоке;

3) установлены зависимости параметров волн напряжений в гранитном массиве с параметрами буровзрывных работ - интервалом замедления, диаметром заряда, конструкцией заряда;

4) на основе принятой физической модели волнового поля напряжений при взрыве удлиненных зарядов в граните показано, что при взрыве двух систем зарядов с интервалом замедления более 10 мс, каждая из систем работает самостоятельно;

5) на основе результатов численного моделирования установлено: максимальные значения амплитуд составляющих волн напряжений на уровне подошвы уступа для зарядов с заданными энергетическими свойствами выше, чем для сплошных зарядов, на 20–25%, а для верхней части зарядов ниже - на 5-10 %; при изменении диаметра заряда с 250 мм до 165 мм максимальные значения радиальных составляющих волн напряжений изменяются по высоте колонки заряда и вглубь массива на 15–20%;

6) для повышения качества дробления горной массы при производстве массовых взрывов на карьерах строительных материалов обоснованы конструкции зарядов с заданными энергетическими параметрами. Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что при применении рекомендуемой конструкции зарядов по сравнению со штатной снижается выход негабарита на 30%, уменьшается средний размер куска с 425 мм до 340 мм, улучшается проработка подошвы уступа;

7) общая удельная экономия от внедрения предлагаемой конструкции скважинного заряда составила 14,7 тг/м³;

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. -М.:Недра, 1993.
- 2 Менжулин М.Г., Парамонов Г.П., Миронов Ю.А., Юровских А.В. Метод расчета дополнительного разрушения горных пород на квазистатической стадии действия взрыва. Сб.: Записки Горного института, том 148 (1), СПб, 2001.
- 3 Адушкин В.В., Спивак А.А. Разрушающее действие взрыва в предварительно напряженной среде // ФТПРПИ. 2002. -№ 4. -С. 61–69.
- 4 Демидюк Г.П., Дубнов Л.В., Стоянов В.В. Техника и технология взрывных работ на рудниках. -М.: Недра, 1987.
- 5 Гришкин А.М., Давыдов В.Ю., Головлев И.Д. Исследование процесса реализации энергии комбинированных зарядов ВВ в полезные формы работы взрыва // Физика горения и взрыва. 1994. Т.30, -№6 -С.100–103.
- 6 Орленко Л.П. Физика взрыва, монография, под редакцией, изд. 3-е, переработанное. Т. 1, -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. -823 с.
- 7 Мержиевский Л.А., Титов В.М., Фадеев Ю.И., Швецов Г.А. Высокоскоростное метание твердых тел // Физика горения и взрыва. 1987. Т. 23, -№ 5. -С. 77–91.
- 8 Боровиков В.А., Дибров И.А., Рыскунов А.А., Курушкин А.В. Механизированный способ приготовления гранулита Ж и результаты его опытно-промышленных испытаний. //Записки горного института, т. 148, Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, 2001.
- 9 Боровиков В.А., Карпенко В.В., Заостровцев В.Н., Шмырко А.Н. Прогнозирование параметров волн напряжений в кимберлитах на основе модели слоистых изотропных упругих сред. //Записки горного института, т. 148, Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, 2001.
- 10 Боровиков В.В. Использование волновых эффектов при направленном взрыве в грунте / В. В. Боровиков, В. Д. Гуськов, А. Б. Соколов// Физика горения и взрыва. 2000. Т.36, -№3. -С.141–144.
- 11 Быстрай Г.П. Методика оценки эффективности энергетических превращений в физических процессах, происходящих при воздействии на горные породы. // Изв. вузов. Горный журнал. 1988. -№ 9.
- 12 Данилов В.Н., Шкурятник В.Л., Сирота Д.Н. Зависимость между акустическими характеристиками и напряжениями в массиве горных пород. // Изв. вузов. Горный журнал. 1988. -№ 2.
- 13 Родионов В.Н., Сб. Взрывное дело №76/33, Разрушение и деформирование твердой среды взрывом, 1976.
- 14 Петряшин Л.Ф., Мячин П.И.. О зависимости поля напряжений и процесса разрушения от конструкции заряда и направления детонации. / Взрывное дело/сб. 62/19, Недра, 1967.

15 Стоянова Т.В., Управление интенсивностью процесса разрушения при отбойке гранита на щебень. Дис. к.т.н., СПб., СПГТИ, 1998.

16 Виноградов Ю.И. Исследование влияния удельных энергозатрат и сетки расположения скважин на эффективность дробления горных пород взрывом. Дис. на соискание ученой степени к.т.н.. Л.: ЛГИ, 1976.

17 Гагулин М.В. и др. Исследование глубины и диаметра взрывных скважин на качество дробления. // Взрывное дело. М.: Недра, №67/24, 1966.

18 Вахрамеев Ю.С., Твердохлебов Н.Ю., Линник А.В., Скоркин Н.А. О численном моделировании стационарных и нестационарных процессов в разрушенных горных породах // Записки Горного института. 2001. Т.148(1). -С. 90–93.

19 Горбонос М.Г., Сивенков В.И., Почекутов В.И. Оценка фактических детонационно-энергетических характеристик акваторов в удлиненных скважинных зарядах рыхления с учетом физической стабильности составов. //Записки горного института. Т. 148, Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, 2001.

20 Державец А.С., Работинский Н.И., Адушкин В.В. Состояние, перспективы и экспертная оценка оптимальных объемов возможного использования промышленных взрывчатых веществ в России. // Записки горного института. Т. 148, Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, 2001.

21 Боровиков В.А., Ванягин И.Ф. Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород. -М.: Недра, 1990.

22 Баженов В.Г., Котов В.Л., Кочетков А.В. Численное моделирование действия взрыва в мягких грунтах. // Записки горного института. Т. 148, Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, 2001.

23 Викторov С.Д. Анализ методов правления процессом разрушения горных пород // Горный журнал. -№7,1995.

24 Падуков В.А., Маляров И.П., Механика разрушения горных пород при взрыве. - Иркутск: Изд-во Иркут. Ун-та, 1985. - 128 с.

25 Жариков И.Ф. Эффективность разрушения горных пород зарядами различных конструкций. // Взрывное дело. М.: Недра, -№89/46,1986.

26 Жариков И.Ф. Эффективность разрушения горных пород зарядами различных конструкций. //Взрывное дело. -М.: Недра, 1986. – С. 31–42.

Магистерская диссертация

**Повышение эффективности отбойки
горных пород на основе
использования зарядов с заданными
энергетическими свойствами**

Выполнил – Молодых Андрей Александрович

Научный руководитель – доктор PhD, ассоц. профессор Исаков Е.Е.

7M07203 – Горная инженерия

Цель работы - повышение эффективности работы горнотранспортного оборудования за счет получения заданного распределения грансостава горной массы при взрывной отбойке гранитных горных пород.

Основная идея работы - гранулометрический состав отбиваемой горной массы обеспечивается управлением параметрами волны напряжений в массиве за счет применения комбинированных зарядов с изменяющимися энергетическими свойствами по длине скважины.

Задачами исследования являются:

- анализ и оценка влияния параметров БВР на формирование параметров волн напряжений в массиве горных пород при производстве массовых взрывов на карьерах;
- разработка методики расчета параметров волн напряжений и зон разрушения горных пород во времени в зависимости от условий взрывания в массиве скважинных зарядов с учетом их взаимодействия;
- установление закономерностей влияния энергетических свойств БВ на формирование параметров волн напряжений;
- разработка конструкции заряда и технологии ведения взрывных работ, обеспечивающих повышение доли энергии БВ, затрачиваемой на дробление горных пород;
- экономическая оценка эффективности предлагаемой технологии ведения взрывных работ на гранитном карьере месторождения Желтау.

Научная новизна работы заключается:

- в определении зависимости нагружения массива системой зарядов от физико-механических свойств горных пород;
- в установлении закономерности изменения амплитудно-временных характеристик волны напряжений в массиве от энергетических свойств и конструкции заряда БВ.

3 Качество дробления горной массы после массового взрыва



График зависимости удельного расхода ВВ от показателя действия взрыва

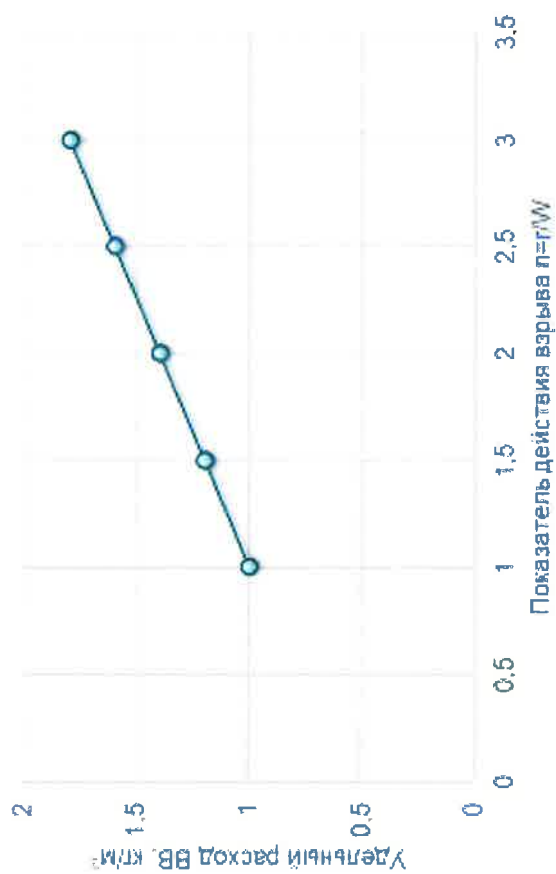
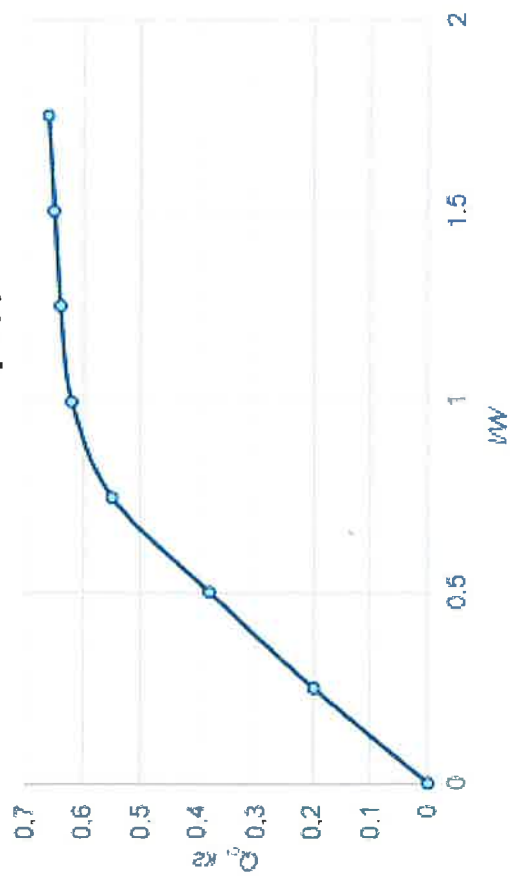
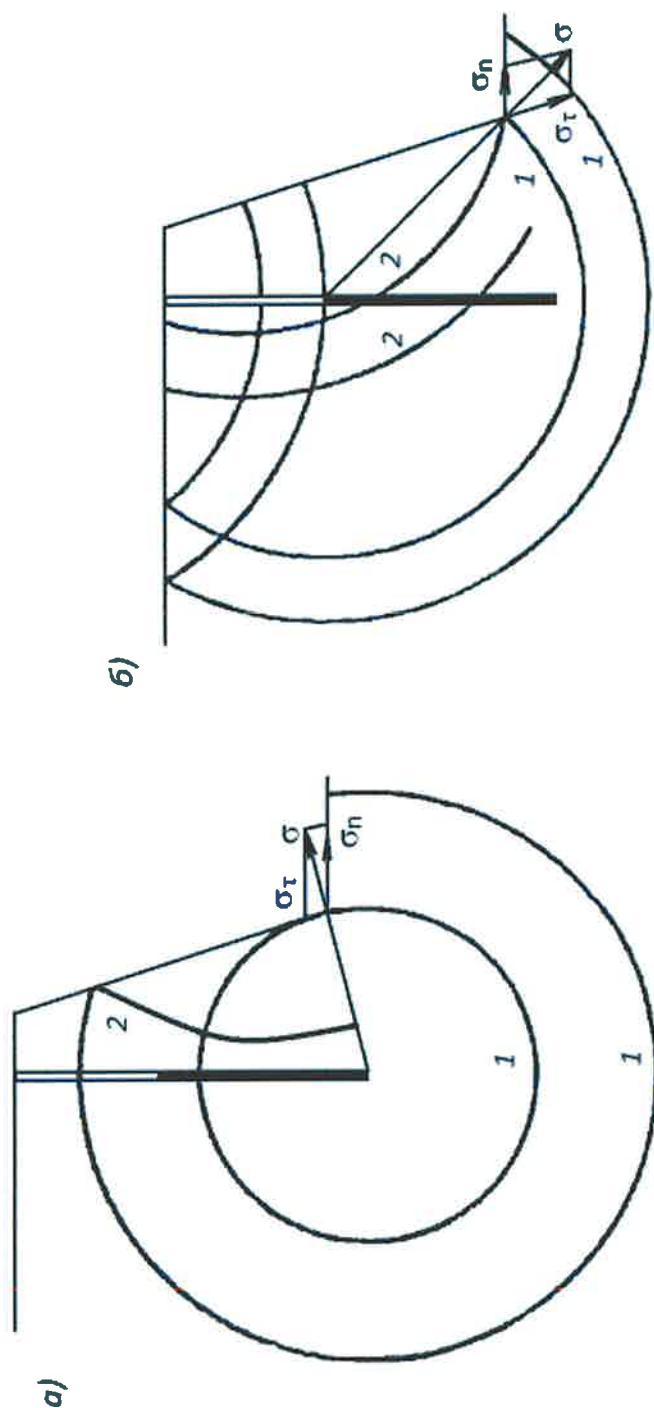


График эквивалентной величины заряда Q_c в зависимости от относительной длины l/W цилиндрического заряда



Форма поля напряжений к моменту окончания детонации колонки заряда



1 - фронт волны в породе от боевика; 2 - фронт отраженной волны ;
а - инициирование снизу; б - инициирование от устья скважины ;

σ_τ , σ_n , σ — векторы касательных напряжений

Расчетная схема скважинных зарядов и эпюра
распределения плотности ВВ

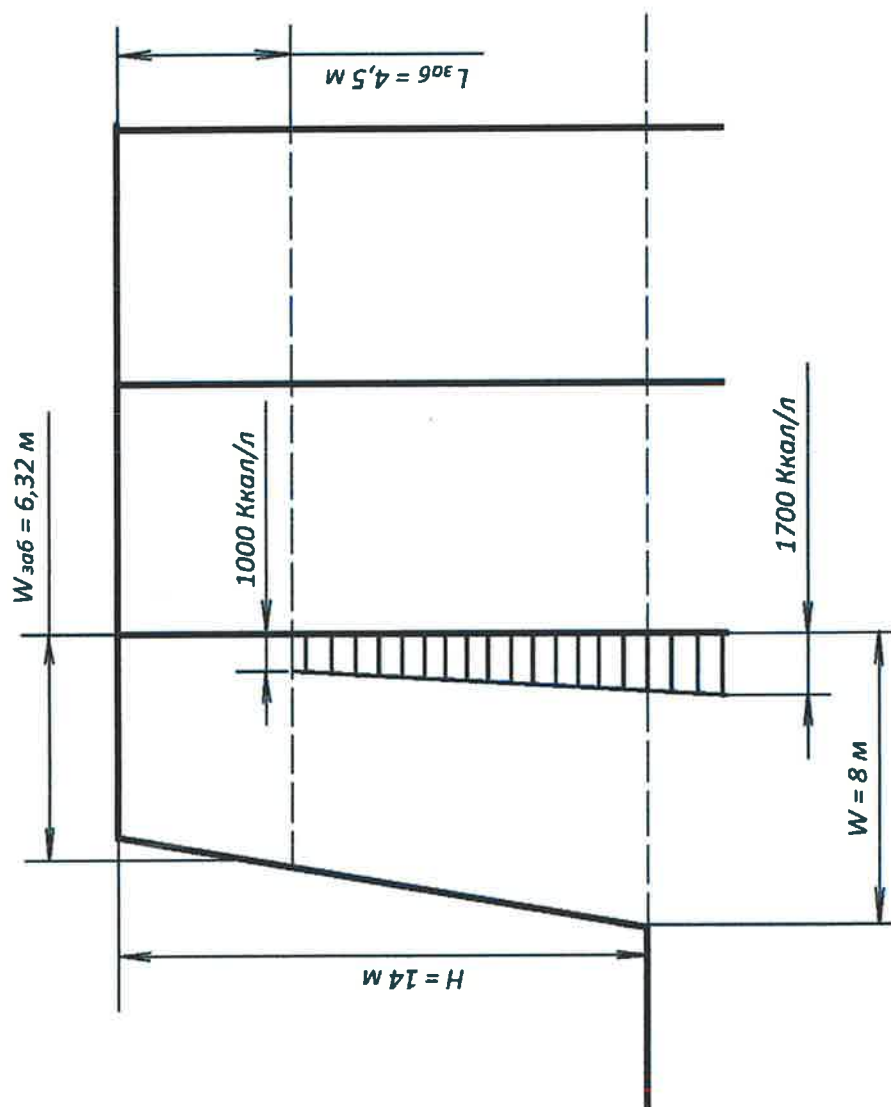


Схема расположения скважинных зарядов при взрыве в трехмерном пространстве

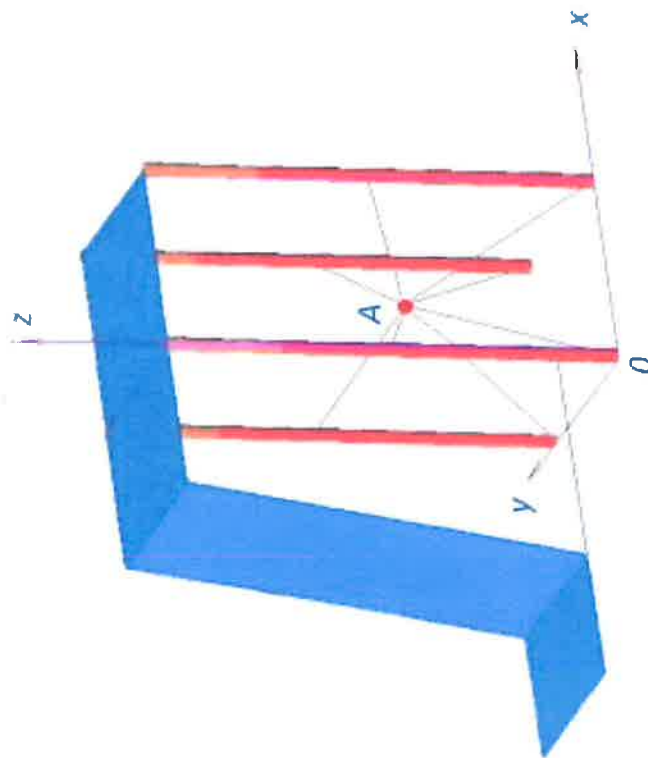
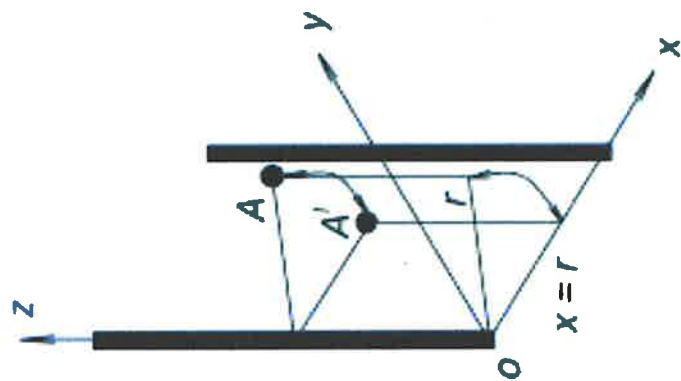


Схема расчета поля напряжений, вызванного взрывом удлиненного заряда

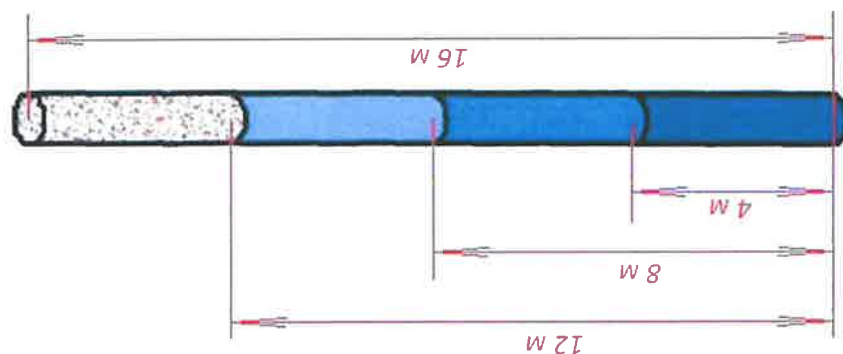


Параметры скважинных зарядов

заряда	Длина, м		Сетка скважин, м		ЛНС, м
	забойки	перебура	скважины	м	
2,0	4,0	2,0	16,0	7x7	8,0

Конструкция предлагаемого комбинированного заряда

8



Параметры комбинированных зарядов

Сетка скважин, м	7 x 7
Длина скважины, м	16,0
Длина заряда $L_{зар}$, м	12,0
Диаметр заряда, м	0,250
Время прохождения волны по ДШ длиной 7 м, мс	1,0
Верхняя 1/3 заряда	
Плотность заряжения $\rho_{вв}$, кг/м ³	900
Скорость детонации по заряду D , м/с	3800
Теплота взрыва Q , КДж/кг	2800
Средняя 1/3 заряда	
Плотность заряжения $\rho_{вв}$, кг/м ³	1000
Скорость детонации по заряду D , м/с	4000
Теплота взрыва Q , КДж/кг	3600
Нижняя 1/3 заряда	
Плотность заряжения $\rho_{вв}$, кг/м ³	1100
Скорость детонации по заряду D , м/с	4200
Теплота взрыва Q , КДж/кг	4600

Эпюра «напряжение-время» радиальной составляющей волны при взрыве комбинированных зарядов с интервалом замедления

9

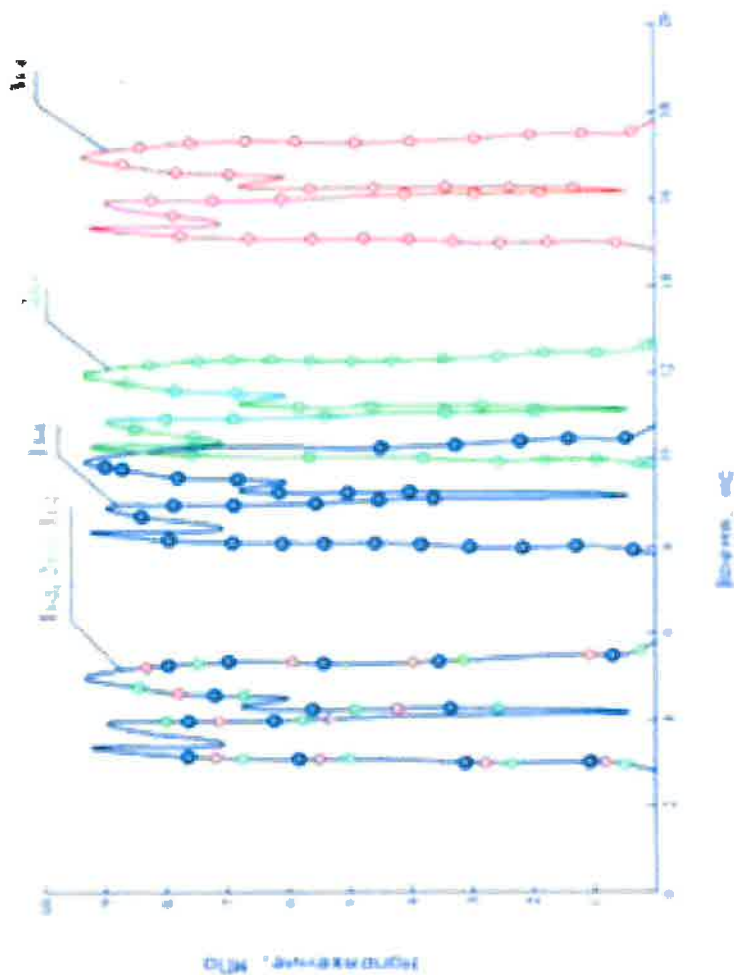
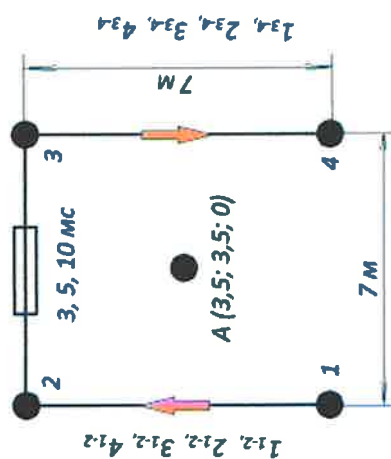
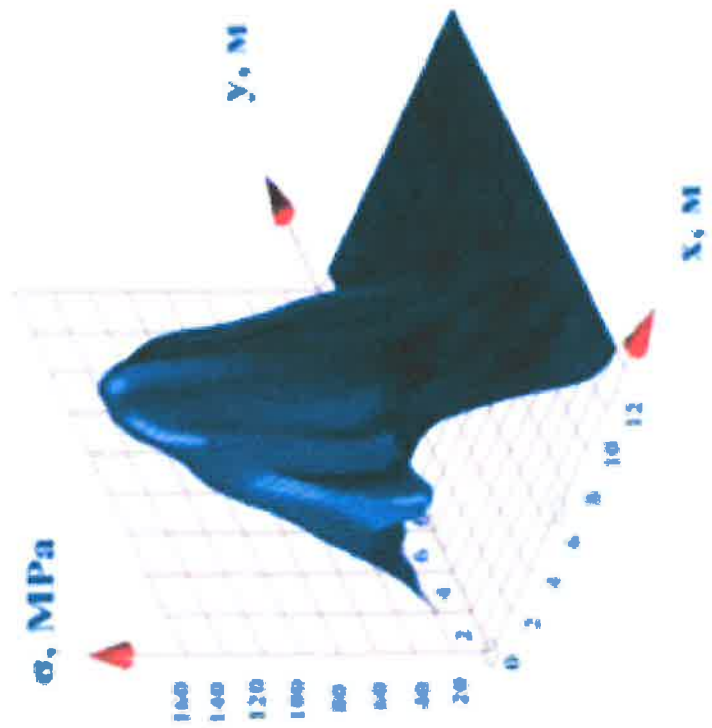
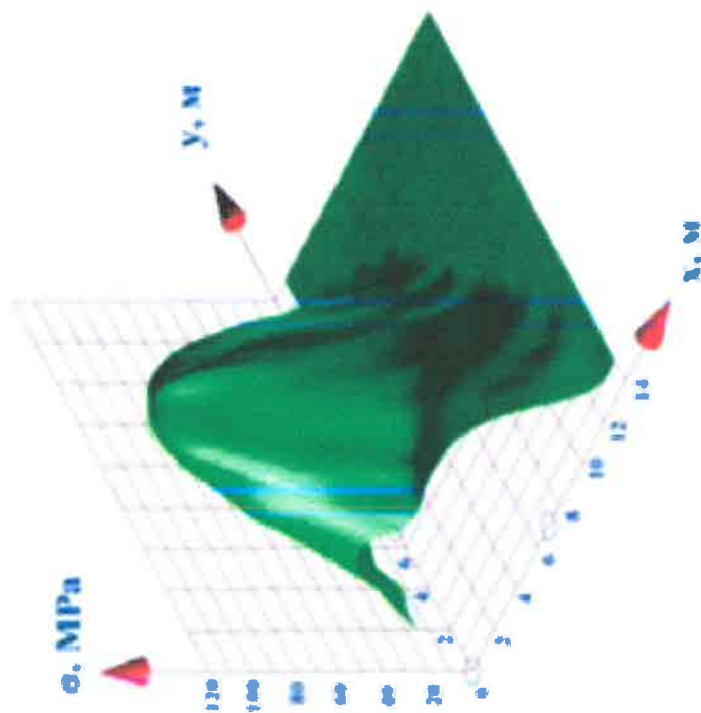


Схема замедления комбинированных зарядов

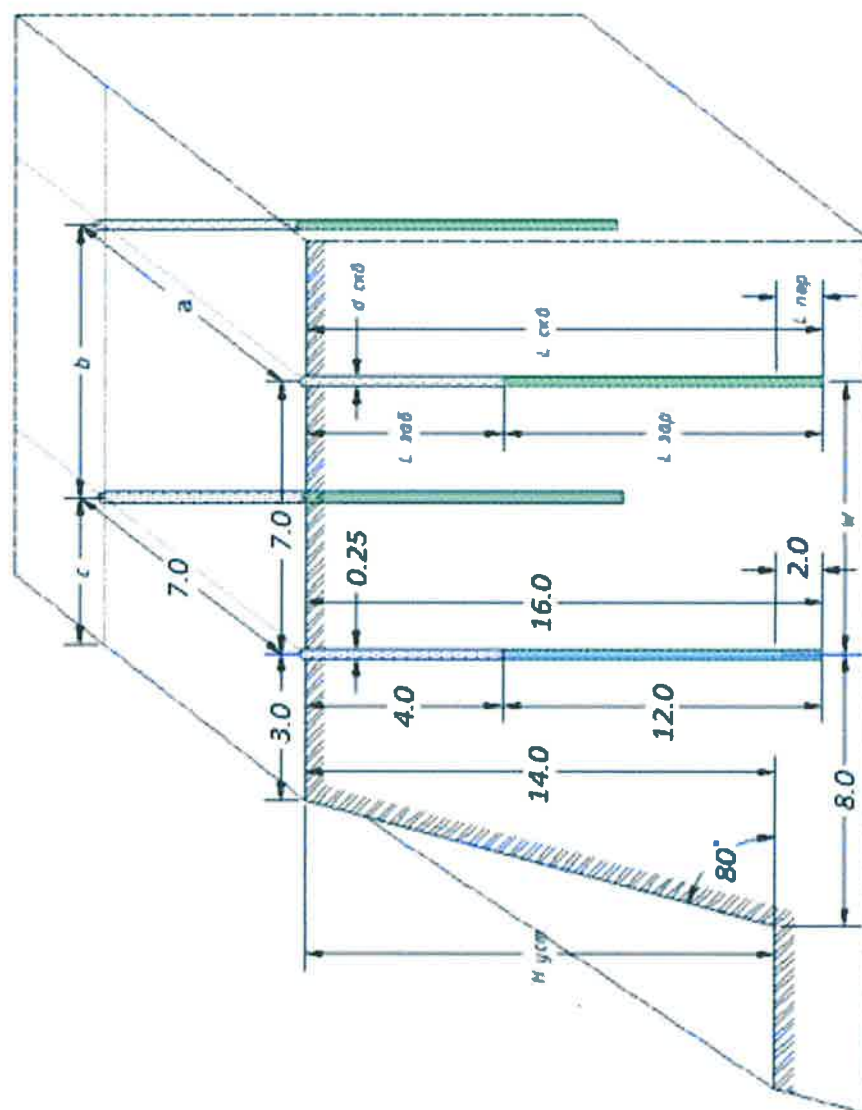


1–3 мс; 2–5 мс; 3–10 мс;
 $A(3,5; 3,5; 0)$;
 сетка скважин = 7 x 7 м;
 длина заряда $L_{зар} = 12$ м

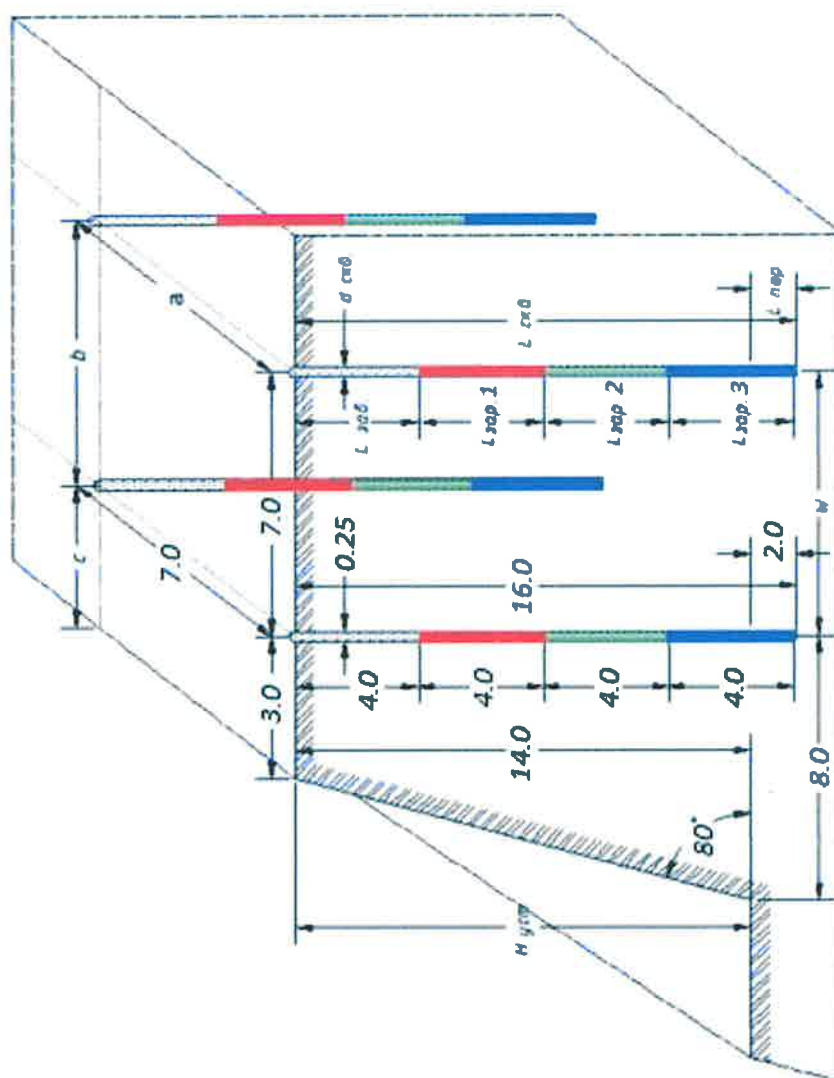
**Волновое поле напряжений при взрыве сплошных и
комбинированных зарядов при $t=3$ мс и $z=0$ м**



Схематичное расположение скважинных сплошных удлиненных зарядов



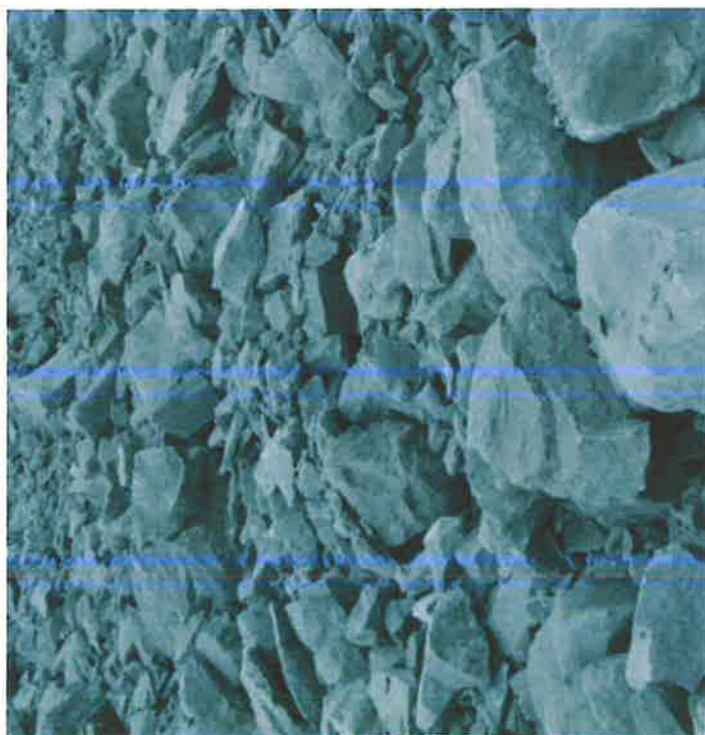
Схематичное расположение скважинных комбинированных удлиненных зарядов



Параметры БВР опытных блоков

№	Параметры	Блок 1	Блок 2
1	2	3	4
1	Порода	гранит	гранит
2	Диаметр скважин, м	0,25	0,25
3	Высота уступа, м	14,0	14,0
4	Сетка скважин, м	7 x 7	7 x 7
5	Угол откоса уступа, град.	80,0	80,0
6	ЛНС, м	8,0	8,0
7	Величина перебура, м	2,0	2,0
8	Проектный объем взрываемого блока, м³	20000,0	22000,0
9	Количество рядов скважин	7,0	8,0
10	Количество скважин, шт	105,0	115,0
11	Глубина скважин, м	14,0–16,0	14,0–16,0
12	Параметры заряда	Граммонит 79/21 $\rho_{вв} = 1000 \text{ кг/м}^3$ $D = 4000 \text{ м/с}$ $Q = 3600 \text{ КДж/кг}$	Верхняя 1/3 заряда Аммиачная селитра $\rho_{вв} = 900 \text{ кг/м}^3$ $D = 3800 \text{ м/с}$ $Q = 2800 \text{ КДж/кг}$ Средняя 1/3 заряда Граммонит 79/21 $\rho_{вв} = 1000 \text{ кг/м}^3$ $D = 4000 \text{ м/с}$ $Q = 3600 \text{ КДж/кг}$ Нижняя 1/3 заряда Гранулолitol $\rho_{вв} = 1100 \text{ кг/м}^3$ $D = 4200 \text{ м/с}$ $Q = 4600 \text{ КДж/кг}$

**Гранулометрический состав горной массы при
использовании сплошных и комбинированных зарядов**



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая магистерская диссертационная работа представляет собой законченную научно-исследовательскую квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной для карьеров добычи строительного камня задачи – повышение эффективности отбойки горных пород на основе выбора оптимальных параметров динамического нагружения горного массива и использования рациональных конструкций зарядов заданными энергетическими свойствами.

Основные результаты научных исследований:

1. Разработана методика расчета параметров волн напряжений для зарядов цилиндрической симметрии, с учетом влияния распределения энергии ВВ по длине заряда, времени замедления, диаметра заряда при взрыве системы зарядов
2. Выполненные расчеты параметров волн напряжений в гранитном массиве для штатных (сплошных) и рекомендованных комбинированных зарядов с заданными энергетическими свойствами позволяют прогнозировать распределение энергии взрыва во взрываемом блоке
3. Установлены зависимости параметров волн напряжений в гранитном массиве с параметрами буровзрывных работ - интервалом замедления, диаметром заряда, конструкцией заряда
4. На основе принятой физической модели волнового поля напряжений при взрыве удлиненных зарядов в граните показано, что при взрыве двух систем зарядов с интервалом замедления более 10 мс, каждая из систем работает самостоятельно.
5. На основе результатов численного моделирования установлено: максимальные значения амплитуд составляющих волн напряжений на уровне подошвы уступа для зарядов с заданными энергетическими свойствами выше, чем для сплошных зарядов, на 20–25%, а для верхней части зарядов ниже - на 5–10 %; при изменении диаметра заряда с 250 мм до 165 мм максимальные значения радиальных составляющих волн напряжений изменяются по высоте колонки заряда и вглубь массива на 15–20%.
6. Для повышения качества дробления горной массы при производстве массовых взрывов на карьерах строительных материалов обоснованы конструкции зарядов с заданными энергетическими параметрами. Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что при применении рекомендуемой конструкции зарядов по сравнению со штатной снижается выход негабарита на 30%, уменьшается средний размер кусков с 425 мм до 340 мм, улучшается проработка подошвы уступа
7. Общая удельная экономия от внедрения предлагаемой конструкции скважинного заряда составила 14,7 тт/м³.

**SCIENTIFIC
COLLECTION
INTERCONF+**



No **105**

April, 2022

THE ISSUE CONTAINS:

Proceedings of the 5th
International Scientific
and Practical Conference

**CURRENT ISSUES AND PROSPECTS FOR THE
DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH**



ORLÉANS, FRANCE

19-20.04.2022



InterConf
Scientific Publishing Center

SCIENTIFIC COLLECTION «INTERCONF»

№ 105 | April, 2022

THE ISSUE CONTAINS:

Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference

CURRENT ISSUES AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH

ORLÉANS, FRANCE

19-20.04.2022

FRANCE
2022

UDC 001.1

S 40 *Scientific Collection «InterConf», (105): with the Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Current Issues and Prospects for The Development of Scientific Research» (April 19-20, 2022). Orléans, France: Epi, 2022. 507 p.*

ISBN 978-2-7045-4521-6

DOI 10.51582/interconf.19-20.04.2022

EDITOR		COORDINATOR	
Anna Svoboda  Doctoral student University of Economics, Czech Republic annasvobodaprague@yahoo.com		Mariia Granko  Coordination Director in Ukraine Scientific Publishing Center InterConf info@interconf.top	
EDITORIAL BOARD			
Temur Narbaev  (PhD) Tashkent Pediatric Medical Institute, Republic of Uzbekistan; temur1972@inbox.ru		Dmytro Marchenko  (PhD in Engineering) Mykolayiv National Agrarian University (MNAU), Ukraine;	
Nataliia Mykhalitska  (PhD in Public Administration) Lviv State University of Internal Affairs, Ukraine		Rakhmonov Aziz Bositovich (PhD in Pedagogy) Uzbek State University of World Languages, Republic of Uzbekistan;	
Dan Goltsman (Doctoral student) Riga Stradiņš University, Republic of Latvia;		Mariana Vereskliia  (PhD in Pedagogy) Lviv State University of Internal Affairs, Ukraine	
Katherine Richard (DSc in Law), Hasselt University, Kingdom of Belgium katherine.richard@protonmail.com;		Dr. Albena Yaneva (DSc. in Sociology and Antropology), Manchester School of Architecture, UK;	
Richard Brouillet (LL.B.), University of Ottawa, Canada;		Vera Gorak (PhD in Economics) Karlovarská Krajská Nemocnice, Czech Republic veragorak.assist@gmail.com;	
Stanyslav Novak  (DSc in Engineering) University of Warsaw, Poland novaks657@gmail.com;		Polina Vuitsik  (PhD in Economics) Jagiellonian University, Poland p.vuitsik.prof@gmail.com;	
Kanako Tanaka (PhD in Engineering), Japan Science and Technology Agency, Japan;		Elise Bant (LL.D.), The University of Sydney, Australia;	
Mark Alexandr Wagner (DSc. in Psychology) University of Vienna, Austria mw6002832@gmail.com;		George McGrown (PhD in Finance) University of Florida, USA mcgrown.geor@gmail.com;	
Alexander Schieler (PhD in Sociology), Transilvania University of Brasov, Romania		Vagif Sultanly (DSc in Philology) Baku State University, Republic of Azerbaijan	
Svitlana Lykholat  (PhD in Economics), Lviv Polytechnic National University, Ukraine		Kamila Əliağa qızı Əliyeva  (DSc in Biology) Baku State University, Republic of Azerbaijan	

If you have any questions or concerns, please contact a coordinator Mariia Granko.

The recommended styles of citation:

1. Surname N. (2022). Title of article or abstract. *Scientific Collection «InterConf», (105): with the Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Current Issues and Prospects for The Development of Scientific Research» (April 19-20, 2022) at Orléans, France; pp. 21-27. Available at: [https://interconf.top/...](https://interconf.top/)*
2. Sumame N. (2022). Title of article or abstract. *InterConf, (105)*, 21-27. Retrieved from [https://interconf.top/...](https://interconf.top/)

This issue of Scientific Collection «InterConf» contains the International Scientific and Practical Conference. The conference provides an interdisciplinary forum for researchers, practitioners and scholars to present and discuss the most recent innovations and developments in modern science. The aim of conference is to enable academics, researchers, practitioners and college students to publish their research findings, ideas, developments, and innovations.

© 2022 Epi

© 2022 Authors of the abstracts

© 2022 Scientific Publishing Center «InterConf»

contact e-mail: info@interconf.top

webpage: www.interconf.top

TABLE OF CONTENTS

BUSINESS ECONOMICS

Гасанова М.Д. Рзаева У.И. Мушкиев З.А.		РОЛЬ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА В РАЗВИТИИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В АГРАРНОЙ СФЕРЕ	7
Туркан А.Ш. Туркан М.Х.		ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	16

REGIONAL ECONOMY

Giguashvili G. Makasarashvili T.		GEORGIAN LABOR MARKET CHALLENGES IN THE CONTEXT OF THE COVID-19 PANDEMIC	37
-------------------------------------	---	---	----

INTERNATIONAL ECONOMICS AND INTERNATIONAL RELATIONS

Huseynova S.M. Babazade G.S.		COINTEGRATION ANALYSIS OF IMPORT-EXPORT OPERATIONS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN IN RELATION TO THE EXCHANGE RATE OF THE MANAT AND THE INCOME OF THE POPULATION	45
---------------------------------	---	--	----

MANAGEMENT

Partyka I. Voronchak I. Partyka Y.		CITY TOURISM DEVELOPMENT MANAGEMENT	55
Гетьман О.О. Котляр М.К. Кіданчук В.О.		ОБґРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ПІДПРИЄМСТВА В ДИФЕРЕНЦІАЛЬНУ ГІБРИДНУ ФОРМУ	61

FINANCE AND CREDIT

Ільків Н.В. Творидло О.І.		АНАЛІЗ РИНКУ БАНКІВСЬКОГО СОЦІАЛЬНОГО КРЕДИТУВАННЯ В УКРАЇНІ	67
------------------------------	---	---	----

PEDAGOGY AND EDUCATION

Alizada H.A. Qurbanova E.E.		TEACHER-STUDENT COOPERATION AS A WAY TO ELIMINATE THE NEGATIVE IMPACT OF DEMOGRAPHIC FACTORS ON THE SOCIALIZATION OF ADOLESCENTS	85
Bazylkanova A.S. Dalelkanova I.E.		THE CONCEPT OF ACADEMIC INTEGRITY PERCEIVED THROUGH THE EYES OF STUDENTS AT ONE HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION IN KAZAKHSTAN	101
Ivanchenko O.Z. Lurie K.I. Melnikova O.Z.		CHANGES IN MEDICAL EDUCATION AS A RESULT OF THE COVID-19 PANDEMIC	122
Serhiienko T.M. Samoilova Y.I.		SYNCHRONOUS AND ASYNCHRONOUS FORMAT OF BLENDED LEARNING AS A WAY OF ENGLISH LANGUAGE TRAINING IN PROFESSIONAL MILITARY EDUCATION INSTITUTIONS AND HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS WITH SPECIFIC STUDY CONDITIONS	129
Попель Н.А.		СИСТЕМА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ У ФРАНЦІЇ	137
Сулік О.А.		ПРОБЛЕМАТИКА ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ В УКРАЇНІ	143

PHILOSOPHY AND COGNITION

Sagatova A. Adylkhanova S.		METAPHORICAL THINKING IN THE KAZAKH WISDOM	154
Ібрагімова М.Э.		ЦЕННОСТИ, МИФЫ И РАЦИОНАЛЬНОСТЬ	164

Богач М.В. Селищева Н.В. Богач Д.М. Пероцька Л.В.		РЕЗУЛЬТАТИ МІКОТОКСИКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ КОРМІВ ДЛЯ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ У ГОСПОДАРСТВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ	306
GEOLOGY, MINERALOGY AND SOIL SCIENCE			
Бацевич Н.В. Федоришин Ю.І. Наушко І.М.		ПЕТРОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БАЗАЛЬТІВ ЛУЧИЧІВСЬКОЇ СВІТИ ТРАПОВОЇ ФОРМАЦІЇ ЕДІАКАРІЮ ЗАХІДНОЇ ВОЛИНИ У ЗВ'ЯЗКУ З МІДЕНОСНІСТЮ	318
Мачулина С.А.		ВЛИЯНИЕ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ПЕРЕРЫВОВ В ОСАДКОНАКОПЛЕНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА В КАРБОНАТНЫХ ФОРМАЦИЯХ	337
NATURE MANAGEMENT, RESOURCE SAVING AND ECOLOGY			
Serdaliyev Y. Iskakov Y. Molodykh A. Amangeldi S.		STUDY OF THE INFLUENCE OF THE WIDTH OF THE STOPE ON THE CHOICE OF DRILLING AND BLASTING PARAMETERS IN THE DEVELOPMENT OF THIN DEPOSITS	347
PHYSICS AND MATHS			
Denysiuk V.P. Tupko N.P. Hryshko O.M.		ABOUT CLASSES OF BASIC FUNCTIONS FOR GENERALIZED TRIGONOMETRIC FUNCTIONS	353
Nastasenkov V.		NEW PHYSICAL-MATHEMATICAL SUBSTANTIATION OF ENERGY AND FORCE PARAMETERS OF THE EARTH'S GRAVITATIONAL FIELD	363
CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE			
Kaplunenko V.G. Kosinov M.V.		LAWS OF HETEROGENEOUS CATALYSIS	376
AGROTECHNOLOGIES AND AGRICULTURAL INDUSTRY			
Садовська Н.П. Попович Г.Б. Гамор А.Ф. Лазар М.М.		УРОЖАЙНІСТЬ КАПУСТИ ПЕКІНСЬКОЇ ЗА ВИРОЩУВАННЯ У ВЕСНЯНІЙ ПЛІВКОВІЙ ТЕПЛИЦІ	399
LIGHT INDUSTRY AND FOOD INDUSTRY			
Migalatiev O.V. Iuşan L.D. Carelina M.L.		STUDY OF NOODLES MANUFACTURING WITH ADDITION OF CO ₂ -MEAL FROM THE SPICE BLEND	412
GENERAL ENGINEERING AND MECHANICS			
Діденко Л.М. Рибалка К.А.		ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ВИКОНАННЯ РОБІТ З УТЕПЛЕННЯ ЗОВНІШНІХ СТІН ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ З ТОЧКИ ЗОРУ ЇХ БЕЗПЕКИ	419
Пізнінцалі Л.В. Александровська Н.І. Россомаха О.І. Россомаха О.А. Рабоча Т.В.		АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ РІЗАННЯ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ СУДЕН З ВИКОРИСТАННЯМ ПОБУДОВИ ДІАГРАМИ ІСІКАВИ	430
Сапарбек А.Н. Шапкенов Б.К. Кайдар А.Б.		ВЕТРОУСТАНОВКИ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ГЕОМЕТРИЕЙ ЛОПАСТЕЙ	447

NATURE MANAGEMENT, RESOURCE SAVING AND ECOLOGY

DOI 10.51582/interconf.19-20.04.2022.034

Serdaliyev Yerdulla

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Department of mining

Satbayev University, Republic of Kazakhstan

Iskakov Yerkin

PhD, Associate Professor, Department of Mining

Satbayev University, Republic of Kazakhstan

Molodykh Andrey

Master's degree student

Satbayev University, Republic of Kazakhstan

Amangeldi Serik

Master's degree student

Satbayev University, Republic of Kazakhstan

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE WIDTH OF THE STOPE ON THE CHOICE OF DRILLING AND BLASTING PARAMETERS IN THE DEVELOPMENT OF THIN DEPOSITS

Abstract. *The article presents the results of a study of the influence of the width of the stope on the choice of drilling and blasting parameters in the development of thin veins of the Akbakay field. The dependences of the specific consumption of explosives and borehole meters on the width of the face are established.*

Keywords: *vein, blasting, specific consumption, borehole meter.*

At present, over 40% of non-ferrous, rare and precious metals extracted by underground mining are mined from vein deposits with ore body thickness from 0.2

to 2 m [1, 2]. When excavating, the width of the working face, according to the safety regulations [3], should be at least 0.6 m, but in practice it is usually determined by the condition of the ore, based on the thickness of the vein, the mineral content in the vein and side rocks, and for the most part ranges from 1 up to 2 m.

The practice of work and studies [2, 3] show that drilling and blasting in the technological cycle of ore breaking in the development of thin veins takes from 40 to 60% of the cost and labor costs. At the same time, it was noted that the smaller the width of the stope, the greater the specific consumption of materials, cost and labor costs per 1 m³ of rock mass breaking.

To study the influence of the working face width on the choice of parameters for drilling and blasting, experimental work was carried out in the Akbakay mine, which develops a thin-veined deposit with an ore-storage mining system.

The rocks of the deposit are represented by granite, granodiorite and quartz veins with a hardness coefficient according to the scale of prof. M.M. Protodyakonov 14–16.

The studies were carried out directly in the working blocks. Breaking was carried out by a small-hole method.

The studies were carried out with a working face width of 1.2 to 3.0 m, which was taken constant in each series of experiments. Variable factors were: explosives, the size of the charge and the strength of the rock. The initial data was taken as the results obtained during the explosion of charges of ammonite 6ZhV with a diameter of 36 mm and a weight of 1.5 kg. Holes with a diameter of 43 mm were arranged in 2–3 rows depending on the width of the stope and rock hardness. The rational number of rows was determined by sighting explosions.

Studies have established that with a decrease in the width of the stope, with other constant values of the parameters of drilling and blasting, the consumption of explosives and borehole meters per 1 m³ of broken rock mass increases.

From fig. 1 shows that with a decrease in the width of the working face by 3.7 times (from 3 to 0.8 m), the specific consumption of explosives and borehole meters increased by 3 times, respectively. However, the change in the specific consumption of explosives and borehole meters per 1 m³ of blasted mass with a change in the

width of the working face occurs unevenly. If with an increase in the width of the working face from 1 to 2 m (2 times), the specific consumption of explosives and borehole meters decreases by a factor of 2 and 1.8, respectively, then with an increase in the width from 2 to 3 m, the decrease in these values is only 20 and 15%, respectively. A sharp increase in the specific consumption of explosives and borehole meters is observed when the width of the stope is reduced to less than 1.5 m.

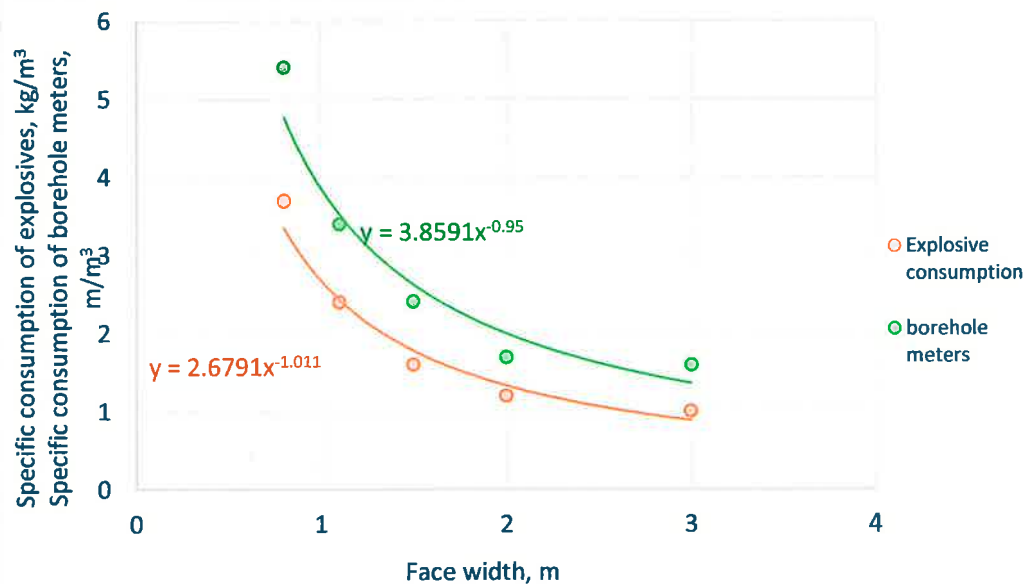


Fig. 1. Graph of the dependence of the specific consumption of explosives and borehole meters on the width of the face

To determine the effect of explosive power on the specific consumption of explosives, the drilling volume and the distance between the holes, experimental explosions were carried out. When loading holes, ammonite 6ZhV and detonite M were used. The results of the experiments showed that the use of more powerful explosives such as detonites helps to increase the optimal distance between holes and, consequently, reduce the specific consumption of explosives and hole gauges. So, for a face width of 1.2 m, when using ammonite 6ZhV for loading holes in rocks $f = 15$, the optimal distance, between the holes was 1 m, while the specific costs of explosive and drilling were equal to 2 kg/m³ and 2.7 m/m³. When using detonites, these values were 1.2 m; 1.67 kg/m³; 2.4 m/m³.

The conducted studies have established that the optimal distance between holes in a row (l_h) depends on the hardness of the rocks and the type of explosive and can be expressed through the width of the stope (m). The distance between boreholes for bottoms 1.0–1.6 m wide is shown in Table 1.

Table 1

**The distance between the holes in a row depending on the width
of the face and the hardness of the rocks**

Strength coefficient according to the scale of prof. M.M. Protodyakonov	Distance between holes in a row l_h depending on the width of the stope (m), m	
	Ammonite 6ZhV	Detonit M
14	$l_h = m$	$l_h = m + 0.2$
16	$l_h = m - 0.2$	$l_h = m$
16<	$l_h = m - 0.5$	$l_h = m - 0.3$

The use of these dependencies for 2 m wide faces, as shown by the experimental work, causes a significant increase in the output of oversized.

The rational distances between holes in a row (l_h) established by experimental work, depending on the width of the stope (m), can serve as the basis for compiling a passport and simplify the marking of the grid of holes in the face.

On the basis of the obtained data, calculations were carried out to determine the specific consumption of explosives per 1 m³ of rock mass, depending on the width of the stope, explosives and rock hardness according to the formula:

$$q = \frac{k_1 f}{10.5 k_2 m^{1.4}}, \text{ kg/m}^3, \quad (1)$$

where f - coefficient of rock strength according to the scale of prof. M.M. Protodyakonov;

k_1 - coefficient taking into account explosives (taken for detonite - 1.0, for ammonite - 0.9).

k_2 - coefficient depending on the strength of the rocks (taken 1.0÷4.0).

To calculate the specific consumption of borehole meters, depending on the width of the stope m and the hardness coefficient of the rocks, the following formula was derived:

$$n = \frac{f}{5.6m^{1.2}}, m/m^3. \quad (2)$$

When developing thin veins, the diameter of the hole also affects the calculation of rational parameters of drilling and blasting [4]. The use of large diameters predetermines an increase in the charge of explosives, expansion of the hole network. However, at the same time, the impact of the explosion on the side rocks increases, which, due to the increase in pins and delaminations, causes an increase in the impoverishment of the ore.

In the process of carrying out experimental work, it was found that for each diameter of the hole (charge value), the specific consumption of explosives and hole meters is different and depends both on the width of the stope and on the hardness of the rocks. It has been established that with an increase in the charge diameter from 36 to 45 mm, the specific consumption of explosives increases. However, this increase is different and depends on the width of the stope. So, if for a working face width of 1.2 m in rocks $f = 15$, the increase in the specific consumption of explosives with an increase in diameter up to 45 mm is 20%, then for a face with a width of 2 m - only 5%.

Based on the conducted research, the following conclusions can be drawn:

1. The width of the stope is of great importance in determining the value of specific costs, explosives, and drilling volume.
2. For rocks $f = 14-16$ with a working face width of 1–2 m, it is advisable to break the ore using a small hole method, with a charge diameter of 36 mm.
3. In hard rocks, it is advisable to blast with ammonites and detonites.
4. The calculation of the specific consumption of explosives and the volume of drilling, depending on the width of the stope and the hardness of the rocks, is carried out according to the formulas (1, 2).

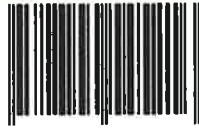
References:

1. Lyakhov A.I. Tekhnologiya razrabotki zhil'nykh mestorozhdeniy. - M.: Nedra, 1984. -240 s.
2. Begalinov A.B., Serdaliyev Ye.T., Almenov T.M., Iskakov Ye.Ye., Amanzholov D.B., Bakhramov B.A. Sovershenstvovaniye otrabotki zolotosoderzhashchikh rud Akbakayskogo rudnogo polya. // Gornyy zhurnal. - 2012. №12. -S. 4-7.

3. Serdaliyev Ye.T., Almenov T.M., Amanzholov D.B. Issledovaniye i sovershenstvovaniye parametrov buro-vzryvnykh rabot na rudnikakh Kazakhstana / Tezisy trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Gornoye delo i metallurgiya v Kazakhstane. Sostoyaniye i perspektivy». 11-12 oktyabrya 2012. -S. 40-41.
4. Lomonosov G.G. Proizvodstvennyye protsessy podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy. -M.: «Gornaya kniga», 2011. -517 s.

SCIENTIFIC EDITION

BN 978-2-704545-21



9 782704 545216

SCIENTIFIC COLLECTION «INTERCONF»

№ 105 | April, 2022

The issue contains:

Proceedings of the 5th International
Scientific and Practical Conference

CURRENT ISSUES AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH

ORLÉANS, FRANCE
19-20.04.2022

Published online: April 20, 2022

Printed: December 30, 2022. Circulation: 200 copies.

Contacts of the editorial office:

Scientific Publishing Center «InterConf»

E-mail: info@interconf.top

URL: <https://www.interconf.top>



InterConf

Scientific Publishing Center



INTERCONF
Scientific Publishing Center

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

18 hours
of correspondence
research work



Certificate of Participation

We are honored to present this certificate to

Molodykh Andrey

for participation in the V International Scientific and Practical Conference
CURRENT ISSUES AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC
RESEARCH held on April 19-20, 2022 in Orléans, France.

and for publishing a scientific article:

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE WIDTH OF THE STOPE
ON THE CHOICE OF DRILLING AND BLASTING
PARAMETERS IN THE DEVELOPMENT OF THIN DEPOSITS**

