

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**
«Донецкий национальный технический университет»

**КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ, ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И
ГЕОМЕХАНИКИ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
для студентов специальности 21.05.04. «Горное дело» по
дисциплине
«ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ БЛОЧНОГО КАМНЯ»

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры строительства
зданий, подземных сооружений и
геомеханики
Протокол № 8 «12» января 2024 г.

Составители:

Шкуматов Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики; Калякин Станислав Александрович - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики.

Конспект лекций по дисциплине «Технологии взрывной отбойки блочного камня» [Электронный ресурс] : для обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» всех форм обучения/ ФГБОУ ВО «ДонНТУ», Каф. строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики; сост. А. Н. Шкуматов, С. А. Калякин. – Электрон. дан.. – Донецк: ДонНТУ, 2024. – 73 с. – Систем. требования: Acrobat Reader.

Приведено содержание всех лекций по дисциплине «Технологии взрывной отбойки блочного камня», перечень рекомендуемой литературы. Конспект лекций может быть полезен студентам всех форм обучения, изучающим предмет заочно или по индивидуальному графику со свободным посещением аудиторных занятий, а также преподавателям, занятым по данной дисциплине.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

ТЕМА 1: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ДОБЫЧИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ	6
Лекция № 1: ДОБЫЧА БЛОЧНОГО КАМНЯ И ЕЕ ОСОБЕННОСТЬ	6
1.1 Технологическая цепь добычи блочного камня.....	6
1.2 Технологии отделения блоков от массива	7
1.3 Схемы добычи камнеблоков	8
ТЕМА 2: ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА	10
Лекция № 2: ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ НАПРАВЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ	10
2.1 Способы целенаправленного создания концентраций напряжений на границе взрывной полости	10
2.2 Двухстадийная схема добычи монолитов камня.....	11
Лекция № 3: ТИПЫ ВВ И КОНСТРУКЦИИ ЗАРЯДОВ ДЛЯ ОТБОЙКИ КАМНЕБЛОКОВ	13
3.1 Заряды Гурита фирмы «Нитронобель» (Швеция)	13
3.2 Пластичные и малоплотные ВВ.....	14
3.3 Заряды мягкого взрывания (ЗМВ).....	15
Лекция № 4: ШЛАНГОВЫЕ И ТРУБЧАТЫЕ ЗАРЯДЫ ДЛЯ ОТБОЙКИ КАМНЕБЛОКОВ	17
4.1 Заряды шланговые ЗША (селективно-детонирующие)	17
4.2 Заряды эластичные трубчатые из составов ВВ «Гранилен»	18
4.3 К-трубчатые заряды фирмы «Форсит» (Финляндия)	19
Лекция № 5: МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЗАРЯДОВ ДЛЯ ОТБОЙКИ БЛОКОВ	21
5.1 Расчет параметров скважинного заряда	21
5.2 Расчет параметров шпурового заряда при отбойки камнеблоков с использованием ДШ	24
5.3 Расчет параметров заряда низкобризантного ВВ	26
Лекция № 6: ТЕХНОЛОГИЯ БВР ПРИ ОТДЕЛЕНИИ БЛОКОВ ПРИРОДНОГО КАМНЯ ОТ МАССИВА С ПОМОЩЬЮ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ	27
6.1 Газогенераторы хлоратные патронированные	27
6.2 Исследования механизма и энергетики действия пиротехнических составов ГХП как нового технического средства добычи блочного камня	27
6.3 Рекомендации по применению газогенераторов хлоратных патронированных	30
Лекция № 7: ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ БВР С УЧЕТОМ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА И УСЛОВИЙ ВОЗМОЖНОСТИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ ТРЕЩИНАМ	31
7.1 Условия проведения работ по добыче блоков зарядами низкобризантных ВВ	31

стр.

7.2 Лабораторные исследования	32
7.3 Добыча блоков на промышленном участке	33
7.4 Исследования при выполнении горно-капитальных работ и отработке трещиноватых зон на карьерах	34
ТЕМА 3: ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА	37
Лекция № 8: НЕВЗРЫВЧАТЫЕ РАЗРУШАЮЩИЕ СМЕСИ	37
8.1 Невзрывчатые разрушающие смеси	37
8.2 Условия применения невзрывных расширяющихся смесей.....	39
Лекция № 9: РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НРС	41
9.1 Последовательность расчета числа шпуров	41
9.2 Последовательность расчета массы заряда при использовании НРС..	41
9.3 Последовательность расчета расстояний между шпурами.....	42
Лекция № 10: ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ. ГАЗОГЕНЕРИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ	44
10.1 Опытные промышленные технологии разрушения массива	44
10.2 Газогенерирующие составы	46
ТЕМА 4: МЕХАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА	50
Лекция № 11: ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ КАМНЕБЛОКОВ	50
11.1 Особенности специальных методов и средств направленного отделения блоков или штучного камня от массива	50
11.2 Способы подготовки к выемке блоков естественного камня	51
Лекция № 12: БУРОКЛИНОВАЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ КАМНЕБЛОКОВ	53
12.1 Буроклиновой способ подготовки блоков к выемке	53
12.2 Схема ведения буроклиновых работ	54
12.3 Типы клиньев	55
Лекция № 13: МЕХАНИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ КАМНЕБЛОКОВ КАНАТНЫМИ ПИЛАМИ И КАМНЕРЕЗНЫМИ МАШИНАМИ	57
13.1 Канатные пилы	57
13.2 Камнерезные машины	58
ТЕМА 5: ОБРАБОТКА КАМНЕБЛОКОВ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА.	60
Лекция № 14: ПРИМЕНЕНИЕ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ НА ОСНОВЕ УКЗ ПРИ ОБРАБОТКЕ И ПАССИРОВКЕ БЛОКОВ ГРАНИТА	60
14.1 Исследование механизма разрушения различных типов горных пород взрывами удлиненных кумулятивных зарядов	60
14.2 Эксперименты с различной конструкцией зарядов на блочном карьере гранитов	61
14.3 Опытные взрывы на отдельных гранитных блоках с целью их пассировки.....	62

стр.

Лекция № 15: ОБРАБОТКА И ПОЛИРОВКА БЛОКОВ	63
15.1 Технологическая схема обработки камнеблоков	63
15.2 Приближенная обработки камнеблоков	64
15.3 Обработка блоков распиловочными станками	66
15.4 Обработка твердых пород камня способом термического воздействия	66
15.5. Обработка камня способом раскалывания	66
15.6 Полирование декоративного камня	67
Лекция № 16: ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БЛОКОВ, ДОБЫТЫХ ЗАРЯДАМИ ВВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	68
16.1 Методика определения фактического ущерба качеству природного камня.....	68
16.2 Сейсмометрические исследования для определения зон нарушенности облицовочного камня	68
16.3 Петрографический анализ образцов	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73

ТЕМА 1: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ДОБЫЧИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Лекция №1 ДОБЫЧА БЛОЧНОГО КАМНЯ И ЕЕ ОСОБЕННОСТЬ

Блочным называется природный камень, служащий для производства стеновых, облицовочных и архитектурно-строительных изделий и извлекаемый из породного массива в виде крупных отдельностей (плит, блоков, монолитов).

1.1 Технологическая цепь добычи блочного камня

Технология добычи блочного камня принципиально отличается от разработки месторождений других твердых полезных ископаемых тем, что при ней требуется максимально *сохранить естественную монолитность и целостность извлекаемых отдельностей*. Т.е. технология добычи блочного камня должна быть *щадящей* на протяжении всех цепи: от отделения блоков от массива до их складирования (рис.1.1).

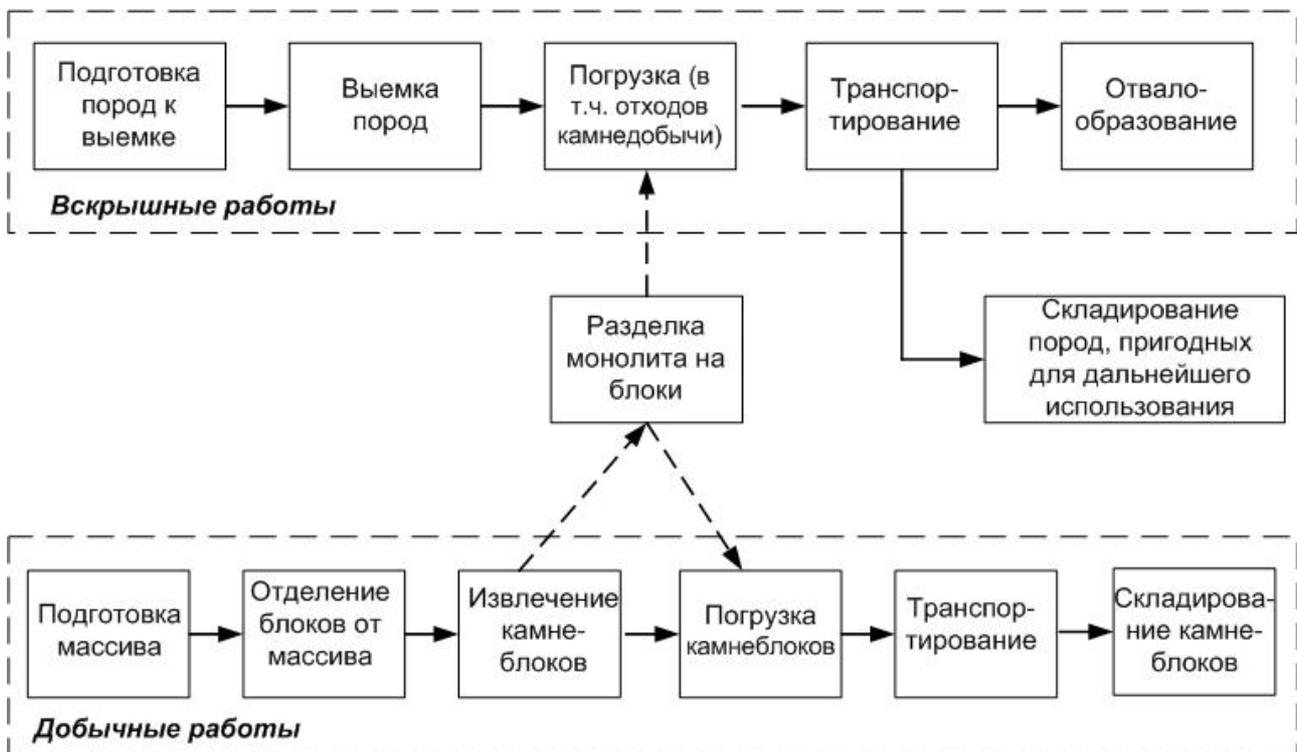


Рисунок 1.1 – Технологическая цепь добычи блочного камня

Добыча блоков камня имеет особенность, которая заключается в том, что в процессе добычи должны полностью сохраняться природные качества камня.

Анализ процессов и технологии открытых горных работ на месторождениях блочного камня показывает, что при их отработке имеется ряд общих вопросов, возникающих при добыче других полезных ископаемых. Вместе с тем разработка этих месторождений характеризуется специфическими особенностями:

- необходимостью сохранения физико-механических свойств горных пород и определенных размеров добываемых блоков;
- малым выходом товарных блоков, не превышающим на ряде карьеров 30-40 %;
- относительно высокой себестоимостью 1 м³ продукции.

Использование закономерностей расположения природных трещин в массиве и микроориентации минералов в камнеблоках позволяет увеличить выход товарных блоков до 60 %.

Эти особенности определяют применение на карьерах блочного камня специальных технологий и средств для осуществления процессов подготовки, погрузки и транспортирования блоков.

1.2 Технологии отделения блоков от массива

С повышением прочности природного камня существенно возрастают трудоёмкость и себестоимость его добычных работ, резко снижаются годовые показатели объёмов производимой продукции. Наиболее трудоёмки и капиталоемки процессы подготовки камня к выемке, а именно процесс отделения камня от массива, который и предопределяет большую часть труда и средств (50-90%) в себестоимости блочной продукции.

Ввиду штучного характера продукции технологические процессы при добыче блочного камня обладают определенной спецификой обусловленной необходимостью извлечения из массива породной отдельности без нарушения ее монолитности. Существующие способы отделения блоков от массива весьма разнообразны.

По характеру воздействия на массив все способы разделяются на три группы:

- взрывные;
- физико-технические;
- механические.

Взрывная отбойка породных монолитов является менее трудоемкой и получила распространение на карьерах по добыче блочного камня, в особенности высокопрочных его разновидностей (гранитов). В это же время взрыв в наибольшей степени нарушает монолитность породы, что в конечном итоге приводит к уменьшению выхода готовой продукции из 1 м³ блоков, особенно тонких и уточненных плит.

До настоящего времени вопрос выбора эффективной технологии буровзрывных работ при добыче блочного камня, обеспечивающей требуемое качество товарных блоков, решен не полностью, что в одних случаях приводит к неоправданно завышенным затратам на добычные работы, а в других – к

недопустимому снижению качества конечной продукции. Поэтому совершенствование взрывной отбойки монолитов камня с использованием направленного раскола, позволяющего повысить производительность добычного процесса при обеспечении высокого качества блоков, не теряет своей актуальности.

К *физико-техническим способам* относят термоструйный способ (разрушение пород нагревом), который применяют для добычи блоков каменных пород, содержащих кварц, так как они довольно быстро разрушаются в условиях высокотемпературных напряжений. При этом способе с помощью терморезаков, извергающих со сверхзвуковой скоростью высокотемпературную газовую струю, вырезают блоки камня определенного размера непосредственно из массива. При необходимости перед отгрузкой потребителям блоки обрабатывают. Им придают требуемые размеры и форму, близкую к прямоугольной (пассировка) и маркируют.

Также к *физико-техническим способам* относится использование невзрывных разрушающих смесей (НРС).

Минимальное нарушение целостности камня при отделении его от массива достигается *механическими способами*. Однако применение этих способов связано со значительными трудо- и энергозатратами.

1.3 Схемы добычи камнеблоков

Добычу камнеблоков открытым способом осуществляют по трем схемам: одно-, двух- и трехстадийной.

Выбор той или иной схемы зависит от размеров содержащихся в массиве природных блоков камня, которые определяются показателями трещиноватости. На практике в большинстве случаев число стадий составляет две или три.

Одностадийная схема предусматривает получение готовой продукции после отделения блока от массива (1–10 м³). Этой операцией достигается выемка блоков заданных размеров и формы близкой к стандартной. В настоящее время такая схема применяется редко.

Необходимость двух- и трехстадийной добычи связана с большими размерами добываемых блоков (монолитов) при использовании природной трещиноватости массива. Отделенный от массива монолит в этом случае отличается от требуемых техническими условиями размеров и должен подвергнуться разделке на блоки необходимых размеров и формы.

Технология двухстадийной добычи блоков включает два этапа:

- отделение от массива монолита объемом 80–800 м³;
- вторичную разделку.

В случае, когда продольные и поперечные системы трещин близки к вертикальному направлению, а постельно-пластовые трещины имеют горизонтальное или слабонаклонное (угол падения до 5 град) залегание, разделение производится без опрокидывания.

Основное отличие *трехстадийной схемы* от двухстадийной заключается

в отделении от массива большего по объему монолита 300–3000 м³.

Бурение пилотных скважин предусматривается установкой Long hole drilling machine (пневмопривод, диаметр коронки 90 мм, производитель – фирма Grani Roc). Горизонтальные скважины бурятся на высоте 10–20 см от плоскости рабочего горизонта. Основной причиной отставания фактической производительности от расчетной является сложность стыковки пилотных скважин и, как следствие, малый коэффициент использования оборудования. Благодаря использованию зонда для поиска отверстий (Grani Roc) процесс стыковки значительно упрощается. Для отделения блоков используются механические клинья и пневмомолоток. Опрокидывание вторичного монолита осуществляется с использованием гидроподушек.

Высокоуступная трехстадийная технология добычи блоков осуществляется с использованием алмазно-канатной машины (АКМ). Пиление осуществляется карьерными машинами, например, СВС75HPN (мощность 55 кВт, диаметр ведущего шкива 810 мм) и СВС-MD75HP (57 кВт, 810 мм) производства испанской фирмы Grani Roc (г. Леон), входящей в состав компании Grupo Hedisa Cor. Максимальная производительность пиления достигает 10 м²/ч. Вода для охлаждения каната повторно не используется.

На разделке опрокинутого монолита применяется установка строчечного бурения СОF-2 (оборудована двумя пневмоперфораторами с ожидаемой технической производительностью на гранитах 0,6 м/мин каждый, производитель – фирма Grani Roc). Между перфораторами фиксированное расстояние 30 см, установленное заводом-изготовителем. Шпуров бурятся диаметром 32 мм с интервалом 15 см.

Готовые блоки грузятся погрузчиком в трал и перевозятся на склад погрузчиками.

ТЕМА 2: ВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА

Лекция №2

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ НАПРАВЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ

2.1 Способы целенаправленного создания концентраций напряжений на границе взрывной полости

При отделении камнеблоков от массива основным является традиционный подход, заключающийся в создании протяженных плоскостей разрыва и контуров. При этом бурят ряд параллельных шпуров или скважин и взрывают в них осесимметричные удлиненные заряды.

Совершенствование его сводится к разработке специальных конструкций зарядов и низкобризантных составов ВВ для осуществления «мягкого» нагружения массива.

Существуют способы целенаправленного создания концентраций напряжений на границе взрывной полости, задающих направления ожидаемых разрушений окружающей среды.

Первая группа включает способы, связанные с *предварительным (до момента взрыва) ослаблением контура шпура (скважины)* за счет создания в нем концентраторов напряжений. К этому классу относятся варианты с созданием концентраторов напряжений путем нанесения на стенки шпура (скважины) по всей длине насечек треугольной формы или бурения дополнительных шпуров вблизи основного шпура (скважины), видоизменяя тем самым форму самого шпура. Однако реализация этих вариантов имеет серьезные трудности и недостатки, поскольку в настоящее время отсутствуют технические средства для создания насечек. В промышленных условиях требует увеличения объема бурения при образовании дополнительных отверстий (шпуров) и технически трудно выполнимо видоизменение формы самого шпура (скважины).

Вторая группа объединяет *способы направленного разрушения*, при которых концентраторы напряжения создаются одновременно со взрывом основного заряда ВВ. Тогда процесс разрушения можно разделить на два этапа:

- на первом этапе посредством волнового действия взрыва заряда ВВ создаются локальные разрушения контура шпура (скважины);

- на втором этапе за счет поршневого действия продуктов взрыва происходит раскрытие первичных трещин (концентраторов напряжений) и развитие радиальных трещин по направлениям, определенным локальными разрушениями.

Осуществление данного принципа направленного разрушения происходит при использовании кумулятивного эффекта зарядов специальных

конструкций либо путем воздействия детонационных волн на стенки шпура (скважины) в местах касания их зарядом ВВ, либо посредством передачи взрывного нагружения на стенки шпура (скважины) через промежуточные элементы с высокой акустической жесткостью.

Третья группа включает *способы*, при которых локальная концентрация напряжений, приводящих к появлению радиальных трещин в намеченных местах, достигается благодаря использованию специальных устройств и приспособлений. Принцип действия этих устройств и приспособлений заключается в создании разрывающих усилий в местах проектируемых разрушений за счет неравномерного распределения напряжений по контуру шпура (скважины) на стадии «поршневого действия» взрыва.

Т.о. при решении технологических задач, связанных с отделением от массива камнеблоков, перспективными направлениями разрушения горных пород взрывом являются:

1. Создание низкобризантных ВВ либо зарядов с малой концентрацией энергии и способов их эффективного применения, при котором ограничивается законтурное действие взрыва.

2. Создание таких конструкций зарядов бризантных ВВ, которые обеспечивают преимущественное распределение энергии заряда по линии раскола и, тем самым, снижают законтурное действие взрыва.

Наиболее технологически обоснованными можно считать первое направление, в которой рассматриваются разработки различных типов ВВ, эквивалентных по действию пороховым зарядам, с целью увеличения производительности труда и снижения опасности работ. Этот опыт уже получил широкое распространение в области контурного взрывания, когда динамическое воздействие на стенки шпура снижается путем организации воздушного или инертного промежутка между зарядами и стенками шпуров или скважин.

2.2 Двухстадийная схема добычи монолитов камня

При двухстадийной схеме добычи монолитов камня, не предусматривающей их опрокидывание, используются погрузчик и буровая самоходная установка (рис.2.1).

Система разработки – углубочно-сплошная, добыча блоков осуществляется горизонтальными и слабонаклонными слоями-уступами. Параметры отделяемого монолита:

- длина 40–60 м;
- высота 1–2 м;
- ширина 1–1,5 м.

Отрезная щель создается буровой установкой Sandvik (рекомендуется буровой станок Sandvik DC 700, оснащенный гидроперфоратором HL710, глубина бурения до 29 м, диаметр скважин от 64 до 102 мм).

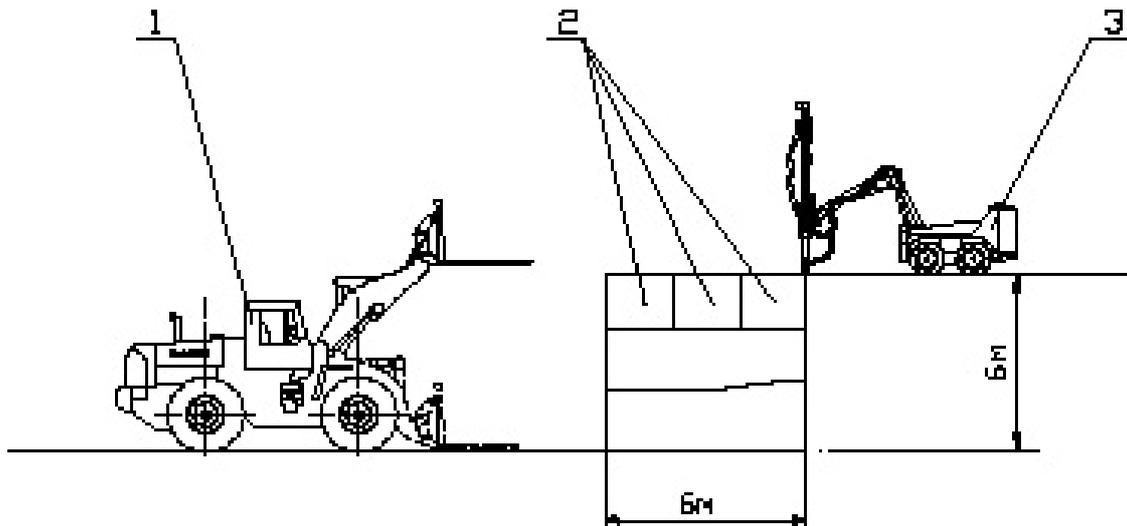


Рисунок 2.1 - Схема отделения и разделки монолита на товарные блоки без опрокидывания танка: 1 – погрузчик, 2 – блоки, 3 – буровая самоходная установка

При проходке отрезной щели сначала работают коронками диаметром 89 мм, далее 76 (меньшим диаметром рациональнее добуривать). С помощью самоходной буровой установки DC120 (глубина бурения до 9 м, диаметр шпуров 24–45 мм, оборудована гидроперфоратором HEX1) бурятся шпуры диаметром 24 мм с интервалом 30 см.

Отделенные блоки перевозятся погрузчиком на временный склад, расположенный в выработанном пространстве карьера.

Технологией также предусматривается взрывное отделение первичного монолита трубками Forsit.

Пластовое залегание пород группы гранитов с практически горизонтальными слоями дает возможность вести добычу блоков с выходом до 75 % и более при невысоких трудозатратах. Однако такое благоприятное для камнедобычи залегание является лишь частным случаем генетической природы трещин в массиве.

Более общим случаем является трансформация горизонтальных (слабонаклонных) трещин в пологопадающие, а вертикальных поперечных и продольных трещин – в крутопадающие. При этом количество крутопадающих систем может быть более двух. Выход блоков на таких месторождениях составляет 10–60 %, что и является главной причиной дефицита блочной продукции из высокопрочного облицовочного камня.

Лекция №3

ТИПЫ ВВ И КОНСТРУКЦИИ ЗАРЯДОВ ДЛЯ ОТБОЙКИ КАМНЕБЛОКОВ

В настоящее время буровзрывные технологии имеют почти исключительное распространение в отечественной практике и отличаются наибольшей производительностью за счет снижения объемов бурения в 3-4 раза по сравнению, например, с гидроклиновым способом. С их помощью можно отбивать блоки любых размеров в породах любой крепости. Для наиболее крепких пород направленное разрушение взрывом остается в настоящее время вне конкуренции.

Главный недостаток – потери блоков за счет разрушения радиальными трещинами прищупуровой зоны, а также нарушение взрывом законтурной части массива. Кроме того, приходится считаться при этом способе с повышенной опасностью и цикличностью работ.

Основной мерой, снижающей недостатки БВР, является применение пороха или низкобризантных ВВ.

3.1 Заряды Гурита фирмы «Нитронобель» (Швеция)

Представляют собой монопатрон, заполненный порошкообразным нитроглицериновым ВВ. Патроны соединяются между собой с помощью стыковочных гильз до требуемой длины.

Гурит по своим характеристикам относится к ВВ с низкой концентрацией энергии и при взрыве оказывает мягкое воздействие на стенки шпура. Для отбойки блочного камня применяют патроны Гурита диаметром 11 мм, длиной патрона 460 мм и массой ВВ 0,07 кг и патроны Гурита диаметром 17 мм, длиной патрона 460 мм и массой ВВ 0,11 кг.

Оболочка патрона представляет собой пластиковую гильзу с удлиненной муфтой, что позволяет стыковать патроны между собой.

В зарубежной практике эта группа способов получила законченное технологическое выражение при создании специальных типов зарядов малого диаметра и малой погонной массы (диаметром 11-17 мм), в конструкцию которых входят центраторы, позволяющие получать надежный зазор между зарядами и стенками шпуров диаметром 27-42 мм. Существенным недостатком таких конструкций является необходимость ручного заряжания. Несмотря на этот недостаток, в последнее время разрабатываются новые и новые конструкции зарядов, предназначенные для направленного разрушения горных пород. К ним относятся заряды фирмы

«Динамит Нобель Грейсдоф» (Германия), в виде трубок диаметром 21 мм. Запатентованы заряды, состоящие из нити ДШ, обложенной маломощным ВВ диаметром 14-15 мм с погонной массой 0,2 кг/м (Швейцария).

Более производительный способ зарядки, позволяющий механизировать процесс заряжания шпуров и скважин, предполагает использование

низкобризантных ВВ пониженной плотности. Снижение плотности ВВ достигается либо применением пенообразующих добавок, позволяющих получать смеси плотностью $0,25 \text{ г/см}^3$, либо добавкой к ВВ 90% гранул вспененного полистирола. Подобные смеси имеют скорость детонации 1750 м/с . В Норвегии выпускаются низкоплотные ВВ, содержащие до 50% опилок, в Швейцарии – заряды «Волюмекс» диаметром 25 мм, плотностью $0,6 - 0,7 \text{ г/см}^3$, во Франции – «Селтит» - низкоплотная смесь селитры с горючими добавками. В отечественной практике ведутся работы в каждом из этих направлений, проходят испытания составы вспененных низкоплотных ВВ на основе аммиачной селитры с добавками поверхностно активных веществ; составы инициируются электродетонатором. Испытания дают обнадеживающие результаты.

3.2 Пластичные и малоплотные ВВ

Для увеличения расстояния между шпурами при добыче блоков и улучшения их качества используются малопластичные смеси на основе аммиачной селитры, поверхностно-активных веществ и воды.

Такие взрывные составы обладают повышенными безопасностью и работоспособностью по сравнению с порохами.

При использовании пластичных ВВ для добычи блоков мраморов, мраморных известняков и подобных им пород высота уступа может достигать 3 м, длина и ширина отделяемых монолитов 3-4 м (объем монолита $30-50 \text{ м}^3$). Применять такие ВВ следует на массивах, характеризующихся наличием трещин в подошве уступа. Оптимальный диаметр шпура - 42 мм, глубина шпура должна составлять 0,5-0,6 высоты отделяемого монолита, а расстояние между шпурами – 70-90 см.

Удельный расход пластичных составов составляет $0,1-0,13 \text{ кг/ м}^3$. Приготовленные пластичные взрывчатые смеси заливают в шпуры, а затем над зарядом размещают бумажный пыж и глинистую забойку. Инициирование зарядов осуществляется электродетонатором.

При таких параметрах ширина магистральной трещины составляет 2-5 см. Шероховатость стенок добываемого блока – не более 0,1 м. В зоне контакта ВВ с породой образуются микротрещины, которые усугубляются в породе на глубину всего 4-5 см.

По сравнению с пороховой отбойкой применение пластичных ВВ позволяет увеличить межшпуровые расстояния почти в 2 раза, что существенно сокращает объем бурения шпуров. Несомненным преимуществом является низкая стоимость, недефицитность их компонентов, а также меньшая опасность при ведении взрывных работ.

Значительный интерес в камнедобыче представляют заряды, состоящие из пенополистирольной оболочки с V-образными кумулятивными выемками из бризантного вещества (рис.3.1). В качестве ВВ используется аммиачная селитра и смесь аммонита № 6 ЖВ. Содержание аммиачной селитры рассчитывается из условия полного разложения пенополистирольной оболочки.

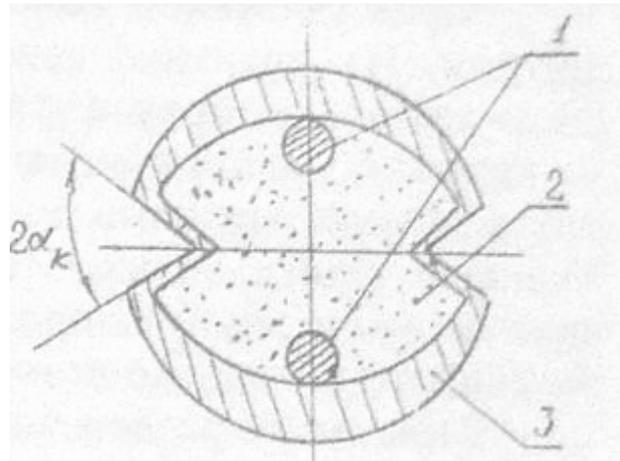


Рисунок 3.1 – Конструкция заряда направленного действия: 1 – детонирующий шнур; 2 – взрывчатое вещество; 3 - пенополистирольная оболочка

Ее введение в состав ВВ позволяет обеспечить плавное изменение параметров импульса взрыва во времени.

Для обеспечения регулярного взаимодействия детонационных волн В. И. Кондратюком [1] предложена формула для определения параметров заряда:

$$\frac{h_k}{r_3} = 1 - \frac{r_3 - \Delta - r_{дш}}{r_3} \cdot \operatorname{tg} \alpha_p, \quad (3.1)$$

где h_k - высота кумулятивных выемок, м;

r_3 - радиус заряда, м;

$r_{дш}$ - радиус детонирующего шнура, м;

Δ - толщина пенополистирольной оболочки в области расположения детонирующих шнуров, м;

α_p - предельный угол регулярного взаимодействия детонационных волн.

Максимальная направленность действия заряда в плоскости кумулятивных выемок при минимуме разрушений в ортогональном направлении обеспечивается при $\alpha_p = 39 \div 40^\circ$, а отклонения магистральной трещины от проектной плоскости откола на расстоянии от заряда, равном 20 диаметров шнура, не превышают 1,5 диаметра шнура.

3.3 Заряды мягкого взрывания (ЗМВ)

Заряды ЗМВ относятся к непригодным ВВ II класса. Они представляют собой удлиненные заряды ВВ фугасного действия (гранулированная аммиачная селитра, либо гранулированная аммиачная селитра 138-141 г/м и угольный порошок (9-12 г/м), внутри которого находится детонирующий шнур, заключенный в полиэтиленовую оболочку (ДШН-10 с величиной тэна 10 г/м). Длина ЗМВ в бухте от 5 до 10 метров. По согласованию

с потребителем допускается любая другая длина ЗМВ. Параметры зарядов ЗМВ, выпускаемых для отбойки блочного камня и его пассивировки приведены в таблице 3.1. Конструкция заряда мягкого взрывания приведена на рисунке 3.2.

Таблица 3.1. Параметры зарядов ЗМВ для отбойки блочного камня и его пассивировки

Показатели	Марка ЗМВ			
	ЗМВ-6-1 ЗМВ-6-1-П	ЗМВ-6-2	ЗМВ-10-1	ЗМВ-10-2
Линейная масса ВВ в ЗМВ, г/м	175 ±25	175 ±25	175 ±25	175 ±25
Плотность ВВ в заряде, кг/м ²	850	850	850	850
Диаметр ЗМВ, мм	17,5 ±0,5	17,5 ±0,5	17,5 ±0,5	17,5 ±0,5
Температура продуктов взрыва, С°	1300	1300	1300	1300
Цвет оболочки ЗМВ	белый	синий	зеленый	красный

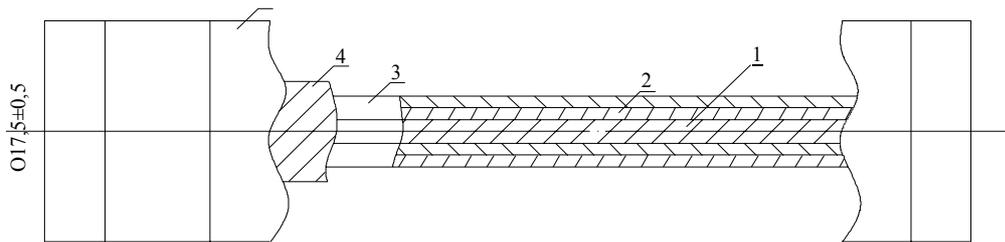


Рисунок 3.2 - Конструктивная схема ЗМВ: 1 - Детонирующий шнур (ДШн-6, ДШн-10); 2 - состав ВВ фугасного действия; 3 - лента пропиленовая; 4 - лента пропиленовая; 5 - водоизолирующая полимерная оболочка

Заряды ЗМВ-6-1, ЗМВ-6-1-П применяются для отбойки и пассивировки камнеблоков с $f = 8-12$. Заряды ЗМВ-10-1, ЗМВ-10-2 применяются для отделения камнеблоков крепких пород с $f = 10-16$.

Заряды мягкого взрывания воспринимают передачу детонации от двойной нитки детонирующего шнура типа ДШ-А, ДШ-В, ДШЭ-12. При необходимости центрирования ЗМВ относительно оси шнура могут использоваться центраторы, которые надеваются на заряд ЗМВ по всей длине с интервалом 30 ± 5 см.

Лекция №4 ШЛАНГОВЫЕ И ТРУБЧАТЫЕ ЗАРЯДЫ ДЛЯ ОТБОЙКИ КАМНЕБЛОКОВ

4.1 Заряды шланговые ЗША (селективно-детонирующие)

НПО «Кристалл» для направленного разрушения горных пород при добыче камнеблоков выпускаются два типа зарядов ЗША-14 диаметром 14 мм – для шпуров и ЗША-25 диаметром 25 мм – для скважин (100-105 мм). Заряд ЗША-14 состоит из полиэтиленовой оболочки толщиной 150-200 мкм, аммиачной селитры марки ЖВГ и центрального инициирующего шнура. В качестве последнего выбран шнур ШЗ-3-3 (ТУ 7511903-563-91) диаметром 3 мм из эластичного ВВ (ТУ 84982-84), что соответствует линейной навеске 12 г/м.

Выбор центрального инициирующего шнура диаметром 3 мм из эластичного ВВ связан с небольшим диаметром заряда – 14 мм. Кроме того, непосредственный контакт эластичного ВВ и аммиачной селитры обеспечивает более полное взрывчатое превращение последней. Общая линейная масса заряда 120-165 г/м.

На рисунке 4.1 представлены конструкции зарядов ЗША-14 и ЗША-25.

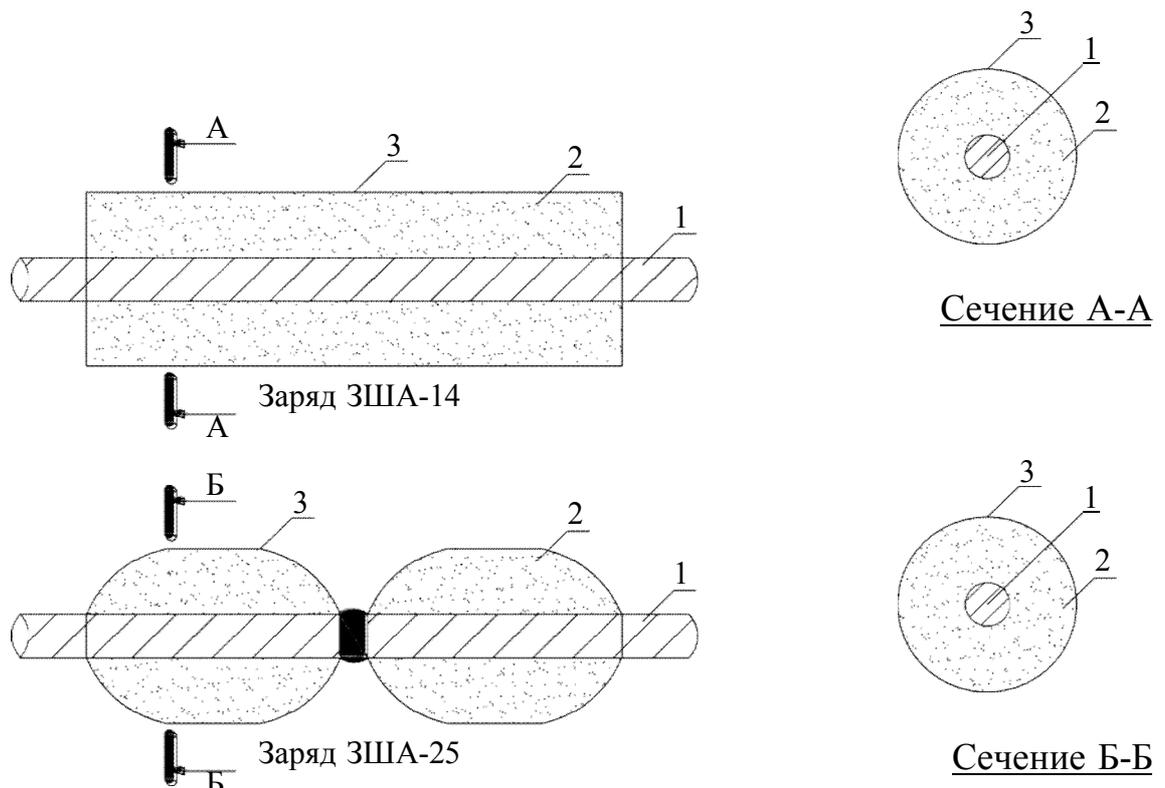


Рисунок 4.1 - Конструкции зарядов ЗША-14 и ЗША-25: 1 – инициатор ДШЭ-12; 2 – взрывчатое вещество; 3 – оболочка из полиэтиленовой пленки

Заряд ЗША-25 состоит из полиэтиленовой оболочки толщиной 150-200 мкм, взрывчатого вещества АТ-1, состоящего из 97% гранулированной

аммиачной селитры с диаметром 1-1,3 мм и 3% порошкообразного тротила, центрального инициирующего шнура ДША или ДШЭ-12 диаметром 6мм. Общая линейная масса заряда 350-550 г/м.

Основные характеристики зарядов ЗША-14 и ЗША-25 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Характеристики зарядов ЗША-14 и ЗША-25

Характеристики	Марка заряда	
	ЗША-14	ЗША-25
Сенсибилизатор	-	тротил
Диаметр заряда, мм	12 - 14	22 - 25
Скорость детонации инициатора, м/с	7700	7000
Теплота взрывчатого превращения, КДж/кг	1460	2050
Объем газов, л/кг	500	600
Линейная масса заряда, г/м	120-165	350-550
Длина в бухте или отрезке, м	4 - 20	4 - 20

4.2 Заряды эластичные трубчатые из составов ВВ «Гранилен»

Взрывчатый заряд выполнен в виде монолитной эластичной трубки без оболочки с гладким внутренним каналом.

Эластичное ВВ «Гранилен» представляет собой композицию, содержащую в качестве наполнителя нитрат калия или его смесь с гексогеном или тротилом, полимерное связующее с армирующей добавкой и красителем.

Заряды из ВВ «Гранилен» представляют собой комбинированный патрон, состоящий из ДШ-А (ДШЭ-12) и эластичного монолитного трубчатого заряда, выполняющего роль демпфера-газогенератора. ДШ располагается коаксиально в гладком канале трубчатых зарядов, способных перемещаться вдоль шнура и фиксироваться на нем.

Заряды из ВВ «Гранилен» имеют наружный диаметр 11-17 мм, центральное отверстие для детонирующего шнура диаметром 6,1 мм, линейную массу 140-360 г/м.

Подобная композиция имеет низкоскоростной режим детонации, малую чувствительность к внешним тепловым и механическим воздействиям, высокую водостойкость состава. Трубчатые заряды из ВВ «Гранилен» удобны и технологичны в эксплуатации благодаря монолитности, высокой плотности и отсутствию оболочки. Они эффективны, так как гасят ударную волну от детонирующего шнура и, не создавая собственной в процессе взрывчатого превращения, выделяют достаточное количество энергии и газообразных продуктов.

Отличительной особенностью данных зарядов является технологичность

сборки колонки патронов при производстве взрывных работ, высокий уровень безопасности их применения. Трубчатый заряд может быть взорван только установленным в его канале детонирующим шнуром, так как наружный диаметр заряда значительно меньше критического диаметра детонации ВВ «Гранилен» ($d_{кр} \geq 70$ мм). Взрывчатые характеристики заряда ЗЭТ «Гранилен» позволяют использовать его для гладкого и качественного отделения камнеблоков от массива, последующей их разделки на товарные блоки нужных размеров и при необходимости их пассивировки.

Возможность быстрого и удобного рассредоточения зарядов на детонирующем шнуре по длине шнура позволяет изменить линейную массу взрывчатого вещества в зарядной полости и, тем самым, более тонко регулировать параметры нагружения массива уже в процессе зарядания шпуров. Для совмещения зарядов с осью шнура служат центраторы из полиэтилена.

Заряды ЗЭТ «Гранилен» позволяют существенно снизить наведенную трещиноватость в монолитах и блоках, полностью устранить разрушение породы на контакте с зарядом. Их использование позволит снизить расходы по буровзрывным работам на 30%, кроме того, существенно повысить экологическую безопасность. На рисунке 4.2 представлены конструкции шпуровых зарядов ЗЭТ «Гранилен», используемых при отделении камнеблоков от массива.

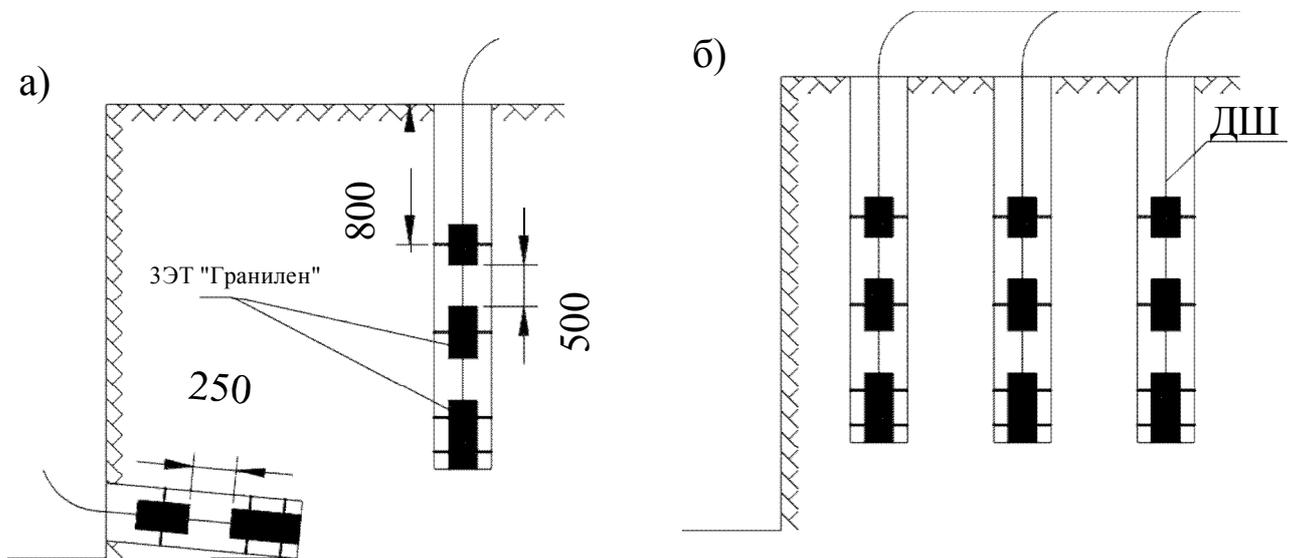


Рисунок 4.2 - Конструкции шпуровых зарядов ЗЭТ «Гранилен» при отделении камнеблоков от массива (при отсутствии подстилающей трещины):

а) вертикальная и горизонтальная линии шпуров б) фланговая линия шпуров

4.3 К-трубчатые заряды фирмы «Форсит» (Финляндия)

К-трубчатый заряд содержит нитроглицерин и кремниевую массу, помещенные в пластмассовые трубки. Предназначен для добычи блочного камня. Разработан фирмой «Форсит» (Финляндия) (рисунок 4.3). Выпускается диаметром 11 и 17 мм.

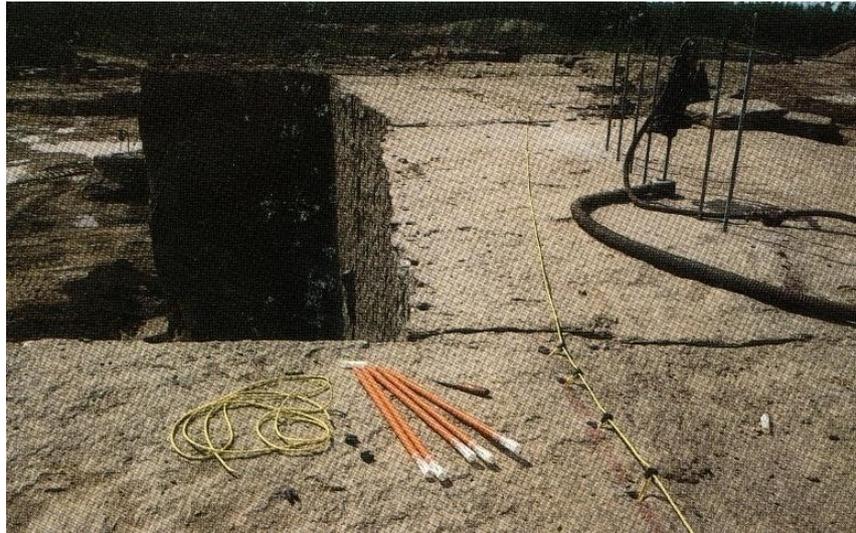


Рисунок 4.3 – К-трубчатые заряды фирмы «Форсит»

В К-трубчатом заряде имеется тормозная вставка, которая удерживает трубку в центре шпура. Таким образом, между стенками шпура и трубкой образуется воздушный зазор, который снижает динамическое воздействие взрыва на стенки шпура. При работе К-трубчатыми зарядами следует рядом с ними располагать нить детонирующего шнура, который должен касаться каждой трубки. Характеристики К-трубчатых зарядов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Характеристики К-трубчатых зарядов фирмы «Форсит»

Наименование	Тип заряда		
	К-11х460	К-17х460	КК-17х460
Диаметр, мм	11,0	17,0	17,0
Длина трубки, мм	460	460	460
Вес, г/шт	50	100	100
Плотность ВВ, г/см ³	0,95	0,95	0,95
Скорость детонации, м/с	2000	2000	1700
Объем газов, л/кг	160	160	132
Теплота взрыва, МДж/кг	1,5	1,5	1,2
Линейная масса, кг/м	0,11	0,22	0,11
Вид ВВ	порошкообразное	порошкообразное	порошкообразное

При использовании К-трубчатых зарядов по отделению от массива удельный расход составляет 60-150 г/см³, а при разделке монолита на блоки – 30-60 г/см³. Расстояние между шпурами в зависимости от прочности камня составляет 15÷40 см. Наиболее интересными для практики горного дела представляются результаты, полученные при испытаниях удлиненных кумулятивных зарядов малой массы, более 25 % энергии которых выделяется в направлении кумулятивной выемки.

Лекция № 5

МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЗАРЯДОВ ДЛЯ ОТБОЙКИ БЛОКОВ

5.1 Расчет параметров скважинного заряда

При применении ВВ

Расстояние между скважинами для щелеобразования определяется по формуле (5.1) [1].

$$a = K \cdot d_{\text{скв}} \cdot \left(1 + 2^{\frac{1}{n}}\right) \cdot \left[\frac{2 \cdot \nu \cdot P_{\partial} \cdot \left(\frac{V_3}{V_c}\right)^{\chi}}{\sigma_p \cdot (1 - \nu) \cdot (1 + C)} \right]^{\frac{1}{m}}, \text{ м}, \quad (5.1)$$

где K - коэффициент, учитывающий ориентацию природных трещин в массиве горных пород относительно плоскости оконтуривания, 0,95...1,2;

$d_{\text{скв}}$ - диаметр скважины, м;

n - степень угасания ударной волны в зоне создания направленной трещины;

ν - коэффициент Пуассона;

P_{∂} - детонационное давление в заряде ВВ, Па;

V_3 - объем заряда ВВ в скважине, м³;

V_c - объем скважины, м³;

χ - показатель адиабаты, 1,17...1,25;

σ_p - крепость горной породы при растяжении, Па;

C - безразмерная величина;

m - степень угасания ударной волны в зоне разрушения.

Диаметр скважины, $d_{\text{скв}}$, определяется типом буровой установки и должен быть в 3-3,5 раза большим диаметра заряда ВВ.

Степень угасания ударной волны в зоне создания направленной трещины:

$$n = 2 - \frac{\nu}{1 - \nu}. \quad (5.2)$$

Объем заряда ВВ в скважине вычисляется следующим образом:

$$V_n = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot l_{\text{заряда}}, \text{ м}^3, \quad (5.3)$$

где d_3 - диаметр заряда ВВ, м;

$l_{\text{заряда}}$ - длина заряда ВВ в скважине, м.

Объем скважины вычисляется следующим образом:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d_{скв}^2}{4} \cdot l_c, \text{ м}^3, \quad (5.4)$$

где l_c - длина скважины, м.

Для определения объемной плотности заряжения скважин в зависимости от прочности горных пород для разных типов ВВ используется графическая зависимость, приведенная на рис.5.1.

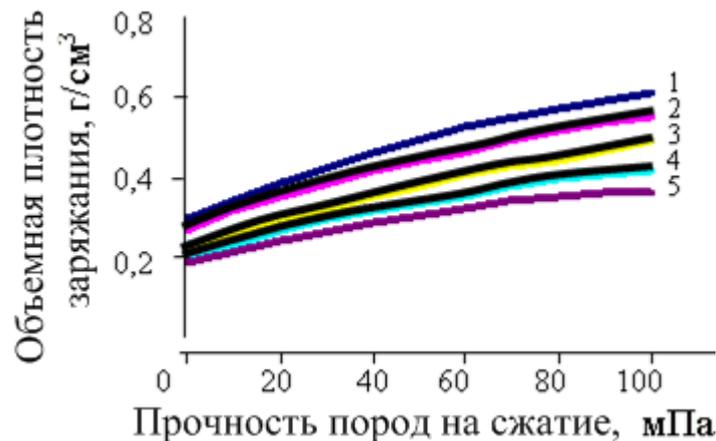


Рисунок 5.1 - Зависимость объемной плотности заряжения скважин от прочности пород: 1 – аммонит ПЖВ - 20; 2 – аммонит № 6; 3 – аммонит № 6 ЖВ; 4 – детонит 6А; 5 – детонит 10А

Плотность заряжения скважины вычисляется:

$$\Delta_{зар} = \delta_n \cdot \frac{V_з}{V_c}, \text{ кг/м}^3, \quad (5.5)$$

где δ_n - плотность патронирования, кг/м³.

Детонационное давление (Па) в заряде ВВ определяется по формуле:

$$P_{\partial} = \frac{\Delta_{зар} \cdot D^2}{4}, \quad (5.6)$$

где D - скорость детонации, м/с.

Степень угасания ударной волны в зоне разрушения:

$$m = 2 + \frac{v}{1-v}. \quad (5.7)$$

Безразмерный коэффициент:

$$C = \frac{\Delta_{зар} \cdot D}{\gamma \cdot C_n}, \quad (5.8)$$

где γ – плотность горной породы, кг/м³;

C_n - скорость продольной волны в горной породе, м/с.

Длина забойки вычисляется по (5.9) и должна быть не менее 1 м [4].

$$l_{\text{забойки}} = 15 \cdot d_{\text{скв}}, \text{ м.} \quad (5.9)$$

Длина скважины без перебура определяется по формуле:

$$l_c^0 = \frac{H}{\sin \alpha}, \text{ м,} \quad (5.10)$$

где α - угол откоса борта траншеи, град.

Длина скважины с перебуром равна:

$$l_c = l_c^0 + l_{\text{перебура}}, \text{ м,} \quad (5.11)$$

где $l_{\text{перебура}}$ - длина перебура, м.

Длина заряда в скважине равна:

$$l_{\text{заряда}} = l_c - l_{\text{забойки}}, \text{ м.} \quad (5.12)$$

Масса заряда определяется по формуле:

$$Q = q_r \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{3} \cdot l_c, \text{ кг,} \quad (5.13)$$

где q_r - удельный расход используемого ВВ, кг/м³:

$$q_r = q_n \cdot \frac{300}{P}, \text{ кг/м}^3, \quad (5.14)$$

где q_n - нормативный удельный расход ВВ, кг/м³, которое обладает работоспособностью 300 см³,

P - работоспособность применяемого ВВ, см³;

$\frac{\pi \cdot r^2}{3} \cdot l_c$ - объем взорванной породы, м³.

Масса 1 м заряда скважины при гранулированных ВВ вычисляется как:

$$\gamma_n = \frac{\pi \cdot d_{\text{скв}}^2}{4} \cdot \Delta_{\text{зар}}, \text{ кг/м.} \quad (5.15)$$

Длина заряда в скважине, необходимого для размещения гранулированного ВВ массой Q , определяется по формуле:

$$l_r = \frac{Q}{\gamma_n}, \text{ м.} \quad (5.16)$$

Число скважин по длине блока, L , определяется по формуле:

$$N_L = \frac{L}{a} + 1, \text{ шт.} \quad (5.17)$$

Число скважин по ширине блока, B , определяется по формуле:

$$N_B = \frac{B}{a} + 1, \text{ шт.} \quad (5.18)$$

Общее число скважин для отбойки блока определяется как сумма:

$$N = N_L + N_B, \text{ шт.} \quad (5.19)$$

Расчет пороховых зарядов

При отделении монолитов взрывами пороховых зарядов величину последних рассчитывают по формуле:

$$Q_{\text{пор}} = q_{\text{пор}} \cdot H \cdot A \cdot I, \text{ кг,} \quad (5.20)$$

где $q_{\text{пор}}$ - удельный расход пороха на отбойку камня, кг/м^3 ;

H, A, I - линейные параметры отделяемого монолита (обычно $A=2/3H$), м.

С учетом работы по подвижке отбитого монолита заряд ВВ может быть рассчитан по формуле проф. А.Ф. Суханова:

$$Q_{\text{пор}} = q_{\text{пор1}} \cdot S + q_{\text{пор2}} \cdot V, \text{ кг,} \quad (5.21)$$

где $q_{\text{пор1}}$ - удельный расход пороха на отрыв монолита по площади откола, кг/м^2 ;

$q_{\text{пор2}}$ - удельный расход пороха на отодвигание монолита от массива, кг/м^3 ;

S - площадь откола, м^2 ;

V - объем отбиваемого взрывом монолита, м^3 .

Опытным путем установлено [1], что при использовании более одной скважины в плоскости откола масса единичного заряда в скважине (шпуре) с достаточной точностью определяется по следующим формулам:

- в вертикальной скважине:

$$Q_{\text{пор}}^{\text{в}} = \frac{0,55 \cdot Q_{\text{пор}} \cdot a_c}{I \cdot A}, \text{ кг,} \quad (5.22)$$

- в горизонтальной скважине:

$$Q_{\text{пор}}^{\text{г}} = \frac{0,45 \cdot Q_{\text{пор}} \cdot a_c}{I}, \text{ кг,} \quad (5.23)$$

где a_c - расстояние между скважинами (шпурами), м.

5.2 Расчет параметров шпурового заряда при отбойки камнеблоков с использованием ДШ

При взрывании ДШ в шпуре, заполненном водой, в массиве возникает фронт ударной волны, а давление в нем определяется по формуле:

$$P = P_H \cdot \left(\frac{V_H}{V_P} \right)^3 = 4,3 \cdot 10^8 \cdot \left[\left(\frac{V_{B.O}}{V_B} \right)^{6,4} - 1 \right], \text{Па}, \quad (5.24)$$

где V_P - объем продуктов детонации при давлении P в шпуре 1 м;

V_H - начальный объем продуктов детонации;

$V_{B.O}, V_B$ - начальный и текущий (при давлении P) объемы воды в шпуре, м³:

$$V_P = V_H + \Delta V; \quad V_B = V_{B.O} - \Delta V; \quad (5.25)$$

где ΔV - увеличение продуктов детонации при расширении, которое можно определить по формуле:

$$P = P_H \cdot \left(\frac{V_H}{V_H + \Delta V} \right)^3 = 4,3 \cdot 10^8 \cdot \left[\left(\frac{V_{B.O}}{V_{B.O} - \Delta V} \right)^{6,4} - 1 \right], \text{Па}. \quad (5.26)$$

При выводе формул учитывалось слияние газовых пузырей, прилегающих к ДШ, в один за время $t=0$.

Давление в шпуре за время t_1 с момента прихода детонационной волны в точках X шпура упадет с $P_{.m} = 1,22 \cdot 10^8$ Па до $P = 2,3 \cdot 10^8$ Па.

Учитывая, что время установления среднего давления в сечении X шпура равно времени двукратного прохождения ударных волн в воде в этом же сечении, можно определить величины t_1 :

$$t_1 = \frac{d_{uu}}{2 \cdot D_B} + \frac{d_{uu}}{2 \cdot D'_B} = 10 \text{ мкс}, \quad (5.27)$$

где D_B - скорость ударной волны в воде;

D'_B - скорость отраженной ударной волны в воде.

В течение 10 мкс давление в массиве пород в месте прилегания нитей ДШ к стенкам шпура измеряется десятками тысяч паскалей, что и приводит к интенсивному разрушению массива на линии «ДШ - массив».

Формирование направленной трещины откола при добыче блоков заданных геометрических размеров этим способом достигается при оптимальном коэффициенте сближения зарядов, который определяется как:

$$K = \frac{a}{W}, \quad (5.28)$$

где a - расстояние между шпурами, м;

W - линия наименьшего сопротивления, м.

Целостность камня и минимальная шероховатость граней блоков обеспечивается при выполнении условия:

$$0 < \frac{a}{W} < 1. \quad (5.29)$$

Максимально допустимое расстояние между шпурами зависит не только от физико-механических свойств разрушаемой породы, но и от количества зарядов, заложенных в одной плоскости. Эта зависимость может быть выражена уравнением:

$$a = A + \frac{B}{n + C}, \text{ м,} \quad (5.30)$$

где n – количество одновременно взрывающихся зарядов;

A, B, C – эмпирические коэффициенты, зависящие от конструкции заряда и физико-механических свойств разрушаемой породы.

5.3 Расчет параметров заряда низкобризантного ВВ

Для расчета использовалось уравнение Абеля-Нобля:

$$P_{з.к.} = \frac{P_o \cdot V_{ок}}{T_o} \cdot T_{взр} \cdot \frac{\rho_з}{1 - \alpha \cdot \rho_з}, \quad (5.31)$$

где $P_{з.к.}$ - среднее давление ПВ в зарядной камере до начала ее разрушения, Па;

P_o - атмосферное давление, 0,1 Па;

T_o - температура, 283 °К;

$V_{ок}$ - объем ПВ при атмосферном давлении, м³;

$T_{взр}$ – температура взрыва, градусах К;

$\rho_з$ – плотность заряда, кг/м³;

α - коволюм.

Задавая давление во взрывной камере, можно определить плотность заряжения $\rho_з$, а по его значению – массу ВВ.

Расчет с использованием уравнения изучается во время практических занятий.

Лекция № 6

ТЕХНОЛОГИЯ БВР ПРИ ОТДЕЛЕНИИ БЛОКОВ ПРИРОДНОГО КАМНЯ ОТ МАССИВА С ПОМОЩЬЮ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

6.1 Газогенераторы хлоратные патронированные

Результатом работ по поиску альтернативных средств добычи камня, объединяющих положительные стороны механических и взрывных способов, стало создание конструкций и составов газогенераторов хлоратных патронированных (ГХП) по ТУ 727-590-001-55254696 .

ГХП состоит из пластмассового корпуса длиной 100-250 мм с внутренним диаметром 20-21 мм, загруженного композицией, состоящей из хлората натрия, и трубок из полиэтилена (полипропилена) массой 50-200 г, днища и головки с гнездом для установки электровоспламенителя типа ЭКВ-2 ГХП обладает способностью создавать динамическое давление газов только в замкнутом пространстве шнура, плотно заполненного песком. Полная идеальная работоспособность состава ГХП — 3200 кДж/кг, кислородный баланс при горении — минус 5 %, температура вспышки — 300-350 °С. Объем газообразных продуктов сгорания ГХП при нормальных условиях составляет около 400 л на 1 кг состава. Основные продукты горения — CO_2 и H_2O (водяные пары). Применение ГХП для добычи блочного камня в карьерах является безопасным в токсиколого-гигиеническом отношении.

Благодаря герметичному пластмассовому корпусу ГХП надежно работают в обводненных шнурах. Следует отметить, что темп нарастания давления в шнуре поддается плавному регулированию введением в окислитель разного количества горючего, что позволяет учитывать конкретные горно-геологические условия карьеров и физико-механические свойства добываемого камня. Отличительной особенностью является переход скоростного горения состава в условиях шнура в дефлаграционное горение.

В процессе испытаний и отработки методик применения ГХП на месторождениях России были проведены отрывы блоков и монолитов различных объемов — от 3-4 до 1200 м³. При этом длина шнуров варьировалась от 1,5 до 6 м, а глубина заходки достигала 10 м.

6.2 Исследования механизма и энергетики действия пиротехнических составов ГХП как нового технического средства добычи блочного камня

Кафедрой Взрывного дела Национального минерально-сырьевого университета «Горный» были проведены широкие теоретические исследования механизма и энергетики действия пиротехнических составов ГХП как нового технического средства добычи блочного камня.

В качестве примера рассмотрим схему расчета наиболее распространенного варианта откола монолита от массива по двум плоскостям — горизонтальной и вертикальной.

Суммарный заряд горизонтальной плоскости отрыва определяется по формуле:

$$Q_{\text{гор}} = 0,1 \cdot B \cdot W \cdot (0,21 \cdot \sqrt{f} + 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot K_{\text{уст}} \cdot \rho \cdot Z \cdot H), \text{ кг}, \quad (6.1)$$

а в вертикальной :

$$Q_{\text{верт}} = 0,09 \cdot B \cdot H \cdot Z \cdot \sqrt{f}, \text{ кг}, \quad (6.2)$$

где H — высота отделяемого монолита, м;

B — ширина фронта, м;

W — длина заходки, м;

a — расстояние между шпурами, м;

f — коэффициент крепости породы по шкале проф. М. М. Протождьяконова;

ρ — плотность породы, кг/м³;

$K_{\text{уст}}$ — коэффициент устойчивости монолита к осыпанию в забой, равный $(2W+H) / (W + H)$;

Z — коэффициент «зажатости» монолита с флангов, изменяющийся с 0,3 для «свободного» до 0,45 для «сильно зажатого».

Средний заряд патронов ГХП на один шпур определяют по формуле:

$$Q_{\text{шп}} = \frac{Q}{\left(\frac{B}{a} - 1\right)}, \text{ кг}, \quad (6.3)$$

где Q - это $Q_{\text{гор}}$ или $Q_{\text{верт}}$ из формул (6.1) и (6.2).

Количество патронов на один шпур, n , определяют таким образом, чтобы промежутки между ними не превышали 1,3-1,4 м и были не более высоты блока. В отдельных случаях расстояние между зарядами можно увеличить при условии чередования шпуров с разреженным и нормальным расположением патронов ГХП. Расстояние от устья шпура до последнего патрона должно быть 0,7-1 м. При высокой трещиноватости массива количество патронов в шпуре увеличивают (уменьшают средний номинал газогенераторов хлоратных патронированных). Патроны по шпуру распределяют с увеличением номинального заряда от устья шпура к его дну (за исключением крайних шпуров со стороны свободного фланга) с целью создания вектора перемещения, облегчающего последующую разработку блока. Если заряд шпура не кратен патронам ГХП имеющейся номенклатуры, можно чередовать шпуры с большим и меньшим зарядом при соблюдении среднего расчетного значения $Q_{\text{шп}}$. В общем случае желательно размещать газогенераторы хлоратные патронированные в соседних шпурах со сдвигом в шахматном порядке, чтобы более равномерно нагружать плоскость отрыва.

Расчетные значения массы заряда газогенератора хлоратного патронированного для отбойки гранита в зависимости от расстояния между шпурами различной глубины приведены в таблицах 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1. Расчетные значения массы заряда газогенератора хлоратного патронированного для отбойки гранита в зависимости от расстояния между шпурами различной глубины для диаметра шпуров 32 мм

		Расстояния между шпурами, м.									
		0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
Глубина шпура, м.	1	0,058	0,068	0,078	0,088	0,098	0,108	0,117	0,127	0,137	0,147
	1,25	0,072	0,085	0,097	0,11	0,122	0,134	0,147	0,159	0,172	0,184
	1,5	0,087	0,102	0,117	0,132	0,147	0,161	0,176	0,191	0,206	0,221
	1,75	0,101	0,119	0,136	0,154	0,171	0,188	0,206	0,223	0,24	0,257
	2	0,116	0,136	0,156	0,176	0,195	0,215	0,235	0,255	0,274	0,294
	2,25	0,13	0,153	0,175	0,198	0,22	0,242	0,264	0,287	0,309	0,331
	2,5	0,145	0,17	0,195	0,219	0,244	0,269	0,294	0,318	0,343	0,368
	2,75	0,159	0,187	0,214	0,241	0,269	0,296	0,323	0,35	0,377	0,405
	3	0,174	0,204	0,234	0,263	0,293	0,323	0,352	0,382	0,412	0,441
	3,25	0,188	0,221	0,253	0,285	0,318	0,35	0,382	0,414	0,446	0,478
	3,5	0,203	0,238	0,273	0,307	0,342	0,377	0,411	0,446	0,48	0,515

Таблица 6.2. Расчетные значения массы заряда газогенератора хлоратного патронированного для отбойки гранита в зависимости от расстояния между шпурами различной глубины для диаметра шпуров 40 мм

		Расстояния между шпурами, м.									
		0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
Глубина шпура, м.	1	0,072	0,084	0,097	0,109	0,122	0,134	0,146	0,159	0,171	0,184
	1,25	0,09	0,105	0,121	0,137	0,152	0,168	0,183	0,199	0,214	0,229
	1,5	0,107	0,126	0,145	0,164	0,182	0,201	0,22	0,238	0,257	0,275
	1,75	0,125	0,147	0,169	0,191	0,213	0,235	0,256	0,278	0,3	0,321
	2	0,143	0,168	0,193	0,218	0,243	0,268	0,293	0,318	0,342	0,367
	2,25	0,161	0,189	0,218	0,246	0,274	0,302	0,33	0,357	0,385	0,413
	2,5	0,179	0,211	0,242	0,273	0,304	0,335	0,366	0,397	0,428	0,459
	2,75	0,197	0,232	0,266	0,3	0,335	0,369	0,403	0,437	0,471	0,505
	3	0,215	0,253	0,29	0,328	0,365	0,402	0,439	0,477	0,514	0,551
	3,25	0,233	0,274	0,314	0,355	0,395	0,436	0,476	0,516	0,556	0,597
	3,5	0,251	0,295	0,339	0,382	0,426	0,469	0,513	0,566	0,599	0,643

6.3 Рекомендации по применению ГХП

Следует отметить некоторые общие принципы и приемы, определяемые свойствами ГХП и используемые специалистами в своей работе. Так, применение при зарядке большего количества ГХП меньшего номинала предпочтительнее, так как позволяет за счет более синхронного и равномерного нагружения получать ровный откол и зачастую экономить расход патронов ГХП (по суммарной навеске). При этом нужно учитывать уникальную особенность ГХП: поскольку это пиротехническое средство, то в зависимости от ситуации имеется возможность корректировать энергетику и динамику горения ГХП путем уменьшения дозировки горючего с окислителем, по сравнению со стандартным. Этим достигается примерно пропорциональное снижение энергетики ГХП при одновременном повышении скорости горения его состава. Такой прием может быть полезным при необходимости ровного откола сравнительно тонких слоев камня, когда линия наименьшего сопротивления весьма мала, а патронов с малой номинальной навеской не хватает. Забойка шпуров также оказывает влияние на качество откола. Если в глубине массива забойка может быть не слишком плотной, то забойка устья шпура должна быть весьма плотной, чтобы исключить «прострел» и преждевременную разгрузку давления всего шпура. В отдельных случаях, например при пассивировке блоков, используют распределяющую давление забойку шпуров путем заливки в шпур вместе с забоечным материалом воды, создающей гидравлическую среду. Количество воды подбирают таким образом, чтобы около 0,5 м от устья шпура можно было забить сухой забойкой (без воды). Нижняя часть шпуров (недобур 15-20 см) забивают плотно сухой забойкой на 25-30 см во избежание откола нижней части блока. Таким приемом давление газов от одного патрона ГХП перераспределяется почти на всю длину шпура, обеспечивая более ровный откол и экономию расхода ГХП.

Следует отметить, что месторождения природного камня исключительно разнообразны по горно-геологическим условиям, физико-механическим свойствам пород, характеру естественной трещиноватости и т. д. Кроме того, в зависимости от конъюнктуры рынка природного камня могут решаться разные задачи — от производства и продажи крупных блоков до камнеобработки и изготовления крупных, средних и мелких изделий. В связи с этим для обеспечения эффективной технологии добычи камня, в том числе с применением ГХП, необходимо предварительное проведение экспериментальных (опытно-промышленных) работ на каждом конкретном карьере.

Лекция № 7

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ БВР С УЧЕТОМ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА И УСЛОВИЙ ВОЗМОЖНОСТИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ ТРЕЩИНАМ

7.1 Условия проведения работ по добыче блоков зарядами низкобризантных ВВ

Работы по добыче блоков зарядами низкобризантных ВВ проводились на карьерах ПОГК «Кузнечное», карьероуправлениях «Каменногорское» и «Ладожское» на гранитах и на карьере «Кейносет» на габбро-диабазам.

Диапазон изменения прочности горных пород на сжатие составлял 160-270 мПа, при трещиноватости массивов от II до IV категории по классификации межведомственной комиссии по взрывному делу.

Отработка параметров буровзрывных работ выполнялась в несколько этапов, последовательно определялись рациональные соотношения $d_{\text{шп}} / d_{\text{зар}}$, Линейная плотность взрывчатого вещества, оптимальное расстояние между шпурами, корректировка БВР при добыче блоков на промышленных участках с учетом трещиноватости массива и условий возможности отделения блоков по естественным трещинам.

На всех этапах работ отбирались образцы пород для анализа трещинообразования в околошпуровом пространстве, измерялась прочность на сжатие, шероховатости поверхности блока в плоскости разрушения между шпурами.

Рассмотрим на примере Каменногорского карьероуправления отработку параметров БВР на блочном карьере при добыче блоков из серых гранитов.

На первом этапе опытных работ определялись рациональные соотношения диаметра шпура и диаметра заряда. На полигоне был обустроен блок шпурами диаметром 32 и 42 мм с расстоянием между шпурами 0,4 м. размеры блока: высота 2 м, ширина 2 м, длина 6,5 м, длина заряда составляла 2/3 высоты уступа.

Шпуры заряжались зарядами аммонита АТ-1 следующим образом:

- три шпура $d_{\text{шп}} = 32$ мм, $d_{\text{зар}} = 13$ мм;
- следующие три шпура $d_{\text{шп}} = 32$ мм, $d_{\text{зар}} = 15$ мм;
- после вертикальной трещины, пересекающей линию шпуров, три шпура $d_{\text{шп}} = 42$ мм, $d_{\text{зар}} = 15$ мм;
- три шпура $d_{\text{шп}} = 42$ мм, $d_{\text{зар}} = 18$ мм.

После взрыва блок был сдвинут на расстояние 0,4-1,5 м от массива и развалился по естественным трещинам.

Буроклиновым способом были отобраны образцы гранитов из околошпуровой зоны для определения трещинообразования при взрыве. Радиус трещинообразования и длина отдельных трещин определялись методами капиллярной дефектоскопии и узкого пучка гамма-излучения.

7.2 Лабораторные исследования

Лабораторными исследованиями было установлено, что при взрыве зарядов с диаметрами 13 и 15 мм в шпурах диаметром 32 мм радиус трещинообразования составил 30, 50 мм соответственно, причем, максимальная длина отдельных трещин в направлении, перпендикулярном к линии откола, составила 40 мм при диаметре заряда 13 мм и 56 мм при диаметре заряда 15 мм. При взрыве зарядов диаметрами 13, 15 и 18 мм в шпурах диаметром 42 мм радиус трещинообразования составил 33, 48 и 52 мм соответственно, причем максимальная длина отдельных трещин в направлении, перпендикулярном к линии откола, составила 40 мм при диаметре заряда 13 мм, 53 мм при диаметре заряда 15 мм и 58 мм при диаметре заряда 18 мм.

Таким образом, с учетом ограничения мощности зоны нарушений при взрывах рациональными диаметрами зарядов аммонита АТ-1 следует считать для шпуров диаметром 32 мм заряды диаметром 13 мм, а для шпуров диаметром 42 мм – заряды диаметром 13 и 15 мм.

Поскольку на карьере бурение шпуров осуществляется в основном коронками диаметром 42 мм, были проведены дополнительно два взрыва зарядов $d_{зар} = 13$ мм в шпурах $d_{шп} = 42$ мм с целью уточнения и определения надежности ранее полученных результатов. Лабораторные исследования образцов гранитов после взрывов показали, что зона трещинообразования лежит в диапазоне 20÷40 мм.

Для дальнейших исследований был выбран диаметр зарядов аммонита АТ-1, равный 13 мм для шпуров диаметром 42 мм. На втором этапе отрабатывались оптимальные расстояния между шпурами зарядов.

На полигоне был обустроен блок высотой 2,0 м, шириной 2,0 м и длиной 12,5 м по схеме ($a = 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, 0,50, 0,55, 0,60, 0,65, 0,70$ м, по три шпура) при постоянных параметрах БВР:

- шпуры длиной 1,9 м и диаметром 42 мм;
- заряды ВВ длиной 1,3 м и диаметром 13 мм;
- взрывчатое вещество – аммонит АТ-1;
- инициирование – детонирующим шнуром, пропущенным по всей длине заряда.

С флангов отделение блока производилось по естественным трещинам.

В результате взрыва блок был сдвинут на расстояние 0,3-1,0 м. осмотр плоскости откола показал, что увеличение расстояния между шпурами приводит к росту неровностей на поверхности плоскости откола.

Многократное повторение подобных экспериментов, отбор сотен образцов для лабораторного определения зоны трещинообразования и длины отдельных трещин позволили определить взаимосвязь расстояния между шпурами и мощностью зоны трещинообразования (рисунок 7.1).

Из графика видно, что с увеличением расстояния между шпурами значительно увеличивается зона трещинообразования. Этот факт известен, но однозначного теоретического объяснения не находит.

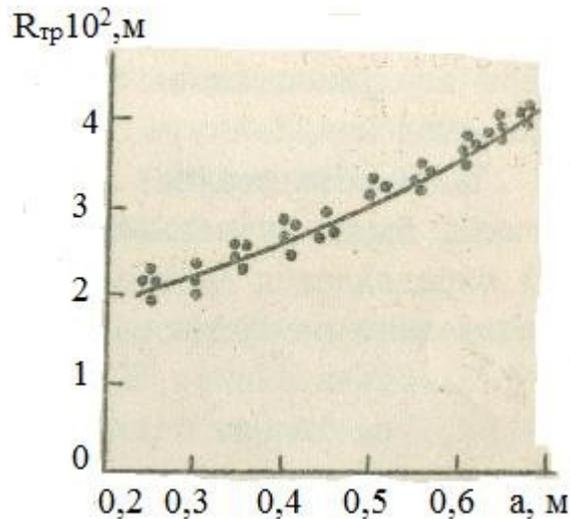


Рисунок 7.1 - Зависимость радиуса зоны трещинообразования ($R_{тр}$) от расстояния между шпурами (a).

Наиболее приемлемым объяснением, на наш взгляд, являются гипотезы, связывающие увеличение расстояния между шпурами с изменением преимущественного местонахождения структурных дефектов в породе, из которых начинается рост магистральной плоскости разрыва. В результате полигонных работ на этом этапе были определены оптимальные расстояния между шпурами для каменногорских гранитов: $0,4 \div 0,5$ м.

7.3 Добыча блоков на промышленном участке

На третьем этапе работ производилась добыча блоков на промышленном участке. Расчет параметров буровзрывных работ и корректировка расчетных данных выполнялась с учетом полигонных экспериментальных работ.

При отработке параметров БВР за основные переменные факторы принимались величина смещения отделенного от массива блока, наличие следов шпуров на плоскости разрушения, шероховатость поверхности отрыва, мощность зоны трещинообразования.

В результате проведения опытно-промышленных исследований для блочного карьера карьероуправления «Каменногорское» установлены следующие параметры БВР при отделении камнеблоков шпуровым методом со следующими параметрами:

Высота уступа: $H = 1,0 \div 4,5$ м.

Линия наименьшего сопротивления (ЛНС) (ширина блока) определяется средним размером добываемых блоков с учетом неровностей поверхностей:

$W = 2,0 \div 4,0$ м.

Длина блока: $L = 10 \div 50$ м.

Расстояние между шпурами: $a = 0,4 \div 0,5$ м.

Длина шпуров: $l_{шп} = [H - (0,1 \div 0,15)]$ м.

Взрывчатое вещество:

аммонит АТ-1 (ТУ 84-768-78),

гранулит-К (ТУ 12.26.026-86).

Конструкция заряда: заряд аммонита АТ-1 или гранулита-К в полиэтиленовых патронах длиной 400 мм или полиэтиленовых шлангах с внутренним диаметром 13 и 15 мм. Из патронов составляется интегральная колонка. По всей длине заряда пропускается нитка ДШ. Заряд располагается в шпуре концентрически, с помощью полиэтиленовых центраторов.

Линейная масса заряда ВВ: 0,09, 0,13 кг/м при диаметрах заряда 13 мм и 15 мм, соответственно.

Длина заряда: $l_z = 2H/3$.

Инициирование зарядов мгновенное, при помощи детонирующего шнура.

Удельный расход ВВ: $q = 0,04 \div 0,08$ кг/м³.

Удельный расход ДША: $0,6 \div 1,5$ м/м³.

При высоте уступа $H \leq 1,0$ м применяется песчаная забойка:

$l_{заб} = H/3$.

При отсутствии естественной горизонтальной трещины бурится горизонтальная линия шпуров диаметром 32 мм, 42 мм, с расстоянием между шпурами $a = 0,4 \div 0,5$ м. Инициирование зарядов вертикальной и горизонтальной линий шпуров одновременное.

Фланговые плоскости обнажения создаются направленным разрушением горных пород с образованием щели взрывом скважинных зарядов с малой линейной массой при сплошном обурировании контура скважинами диаметром 105 мм.

7.4 Исследования при выполнении горно-капитальных работ и отработке трещиноватых зон на карьерах

Аналогичным образом проводилась отработка параметров ВВ для отбойки блоков скважинными зарядами. Исследования проводились непосредственно при выполнении горно-капитальных работ и отработке трещиноватых зон на карьерах «Перкон-Лампи», блочных карьерах карьероуправления

«Ладожское» и «Каменногорское». Буровые работы выполнялись станками БСУ-125 коронками диаметром 105 мм.

Размеры отделяемых от массива блоков не были постоянными и изменялись в пределах: высота уступа $H = 5,0 \div 9,0$ м, ЛНС $W = 4,0 \div 5,5$ м, длина блоков $L = 10 \div 18$ м. скважины заряжались зарядами аммонита АТ-1 и гранулита-К с диаметром 20, 25, 27, 32 мм. Длина заряда составляла $2/3$ высоты уступа при отбойке блоков в породах II категории трещиноватости, и скважины заряжались на всю длину при взрывах в массивах IV категории трещиноватости.

Линейная масса заряда составляла 0,25, 0,40, 0,46, 0,66 кг/м в зависимости от диаметра заряда. Отбор образцов гранита и их лабораторные испытания позволили определить зоны трещинообразования вокруг скважин (таблица 7.1).

Таблица 7.1. Величины зон трещинообразования при отделении блоков гранита от массива скважинным методом (105 мм)

Диаметр заряда, мм	Линейная масса заряда, кг/м	Радиус трещинообразования, см
20	0,25	1,7 – 6,6
25	0,4	3,0 – 8,5
27	0,46	3,5 – 9,2
32	0,66	5,3 – 11,2

Определение оптимальных расстояний между скважинами осуществлялось на основе результатов опытных взрывов, в которых, начиная с 0,8 м, расстояния между скважинами увеличивались последовательно с шагом 0,2 м до расстояний 1,5-1,7 м при использовании зарядов диаметром 20 и 25 мм, ЛНС при этом практически не изменялась и составляла 3,5-4,0 м.

Взрывы показали, что с увеличением расстояния между скважинами от 0,8 до 1,2 м смещение отделенной части массива снижается с 1,2÷1,5 м до 0,4÷0,5 м. Дальнейшее увеличение расстояний до 1,5-1,7 м уменьшило перемещение блоков до 0,1-0,2 м, в некоторых случаях не образовалась магистральная трещина между скважинами, иногда происходил прострел скважин. Кроме того, с увеличением расстояний между скважинами от 1,0 м и более резко растет шероховатость плоскости откола, снижается точность оконтуривания блока. Это объясняется, по-видимому, тем, что с увеличением расстояний между скважинами в процессе разрушения возрастает роль естественной трещиноватости, его структурная неоднородность. Исследование образцов на образование новых трещин показало, что с увеличением расстояний между скважинами до 1,0-1,2 м радиус зоны трещинообразования оставался в пределах 10÷60 мм при взрыве зарядов диаметром 20 и 25÷80 мм для зарядов диаметром 25 мм.

Опыт отделения блоков на промышленных участках карьеров показал, что оптимальным расстоянием между скважинами является расстояние 0,8- 1,0 м при использовании зарядов диаметром 20 мм и 1,0-1,2 м для зарядов диаметром 25 мм. На основании расчетов опытно-промышленных взрывов, экспериментальных работ по оценке воздействия на массив шланговых зарядов аммонита АТ-1 были разработаны основные параметры БВР для массовых взрывов на блочных карьерах Каменногорского и Ладожского карьероуправлений:

Высота уступа: $H = 4-10$ м.

Линия наименьшего сопротивления: $W = 3 - 4,5$ м.

Длина блока ограничивается только структурными особенностями массива.

Расстояние между скважинами: $a_1 = 0,8-1,0$ м (диаметр заряда 20 мм), $a_2 = 1,0-1,2$ м (диаметр заряда 25 мм),

Длина скважин: $l_{скв} = [H - (0,15 - 0,2)]$ м.

Взрывчатое вещество: аммонит АТ-1, гранулит-К.

Конструкция заряда: заряд аммонита АТ-1 или гранулита-К в полиэтиленовых патронах длиной 400 мм или полиэтиленовых шлангах с внутренним диаметром 20 и 25 мм. Из патронов составляется интегральная колонка. По всей длине заряда пропускается нитка ДШ. Заряд в скважине располагается концентрически, с помощью центраторов.

Линейная масса заряда ВВ: 0,25, 0,4 кг/м при диаметрах заряда 20 и 25 мм соответственно.

Длина заряда: $l_z = 2H/3 \div H$.

Инициирование зарядов мгновенное, при помощи детонирующего шнура.

Удельный расход ВВ: $q = 0,08-0,1 \text{ кг/м}^3$.

Удельный расход ДША: $0,6-0,9 \text{ м/м}^3$.

Горизонтальная подсечка блока не применяется, высота уступа определяется мощностью слоя или нескольких слоев.

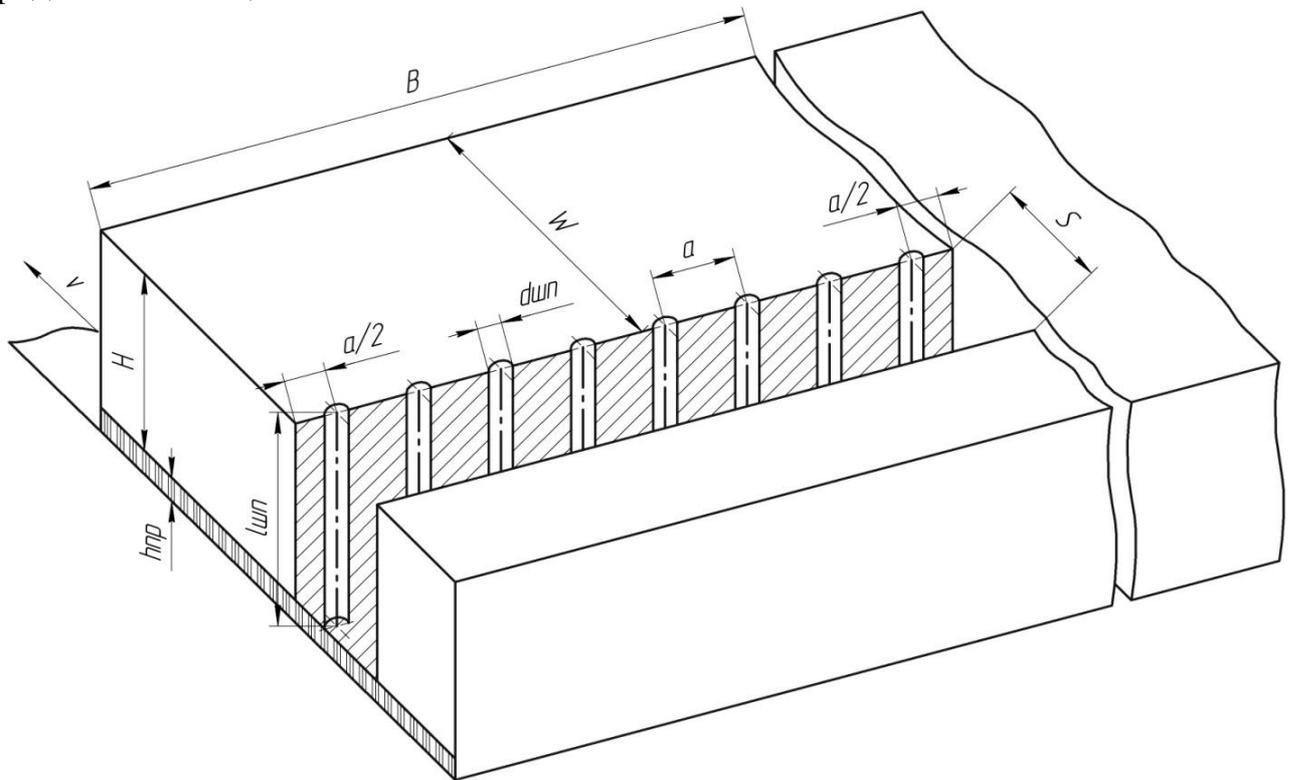


Рисунок 7.2. – Схема к расчету параметров отделения монолите от массива:

S – ширина разрываемого слоя (дальность перемещения монолита);

$h_{шп}$ – толщина скалываемого слоя (мощность прослойки)

С флангов в качестве плоскости разрыва используются естественные трещины или при их отсутствии направленным разрушением создаются щели взрывом скважинных зарядов.

Массовые взрывы на промышленных участках карьеров с применением зарядов аммонита АТ-1 и гранулит-К показали, что рассредоточение массы заряда по длине скважин обеспечивает нагружение массива по всей высоте уступа и сдвигает отделяемую часть массива без вскрытия трещин напластований. При этом величину перемещения блока можно регулировать в пределах от 0,05 до 0,5 м.

ТЕМА 3: ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА

Лекция № 8 НЕВЗРЫВЧАТЫЕ РАЗРУШАЮЩИЕ СМЕСИ

8.1 Невзрывчатые разрушающие смеси

Применение взрывчатых веществ, даже слабо бризантных, губительно для самоцветного сырья из-за образования микро- и макротрещин. Для повышения качества добываемого сырья предлагается использовать невзрывчатые разрушающие средства (НРС).

Принцип действия НРС показан на рис. 8.1.

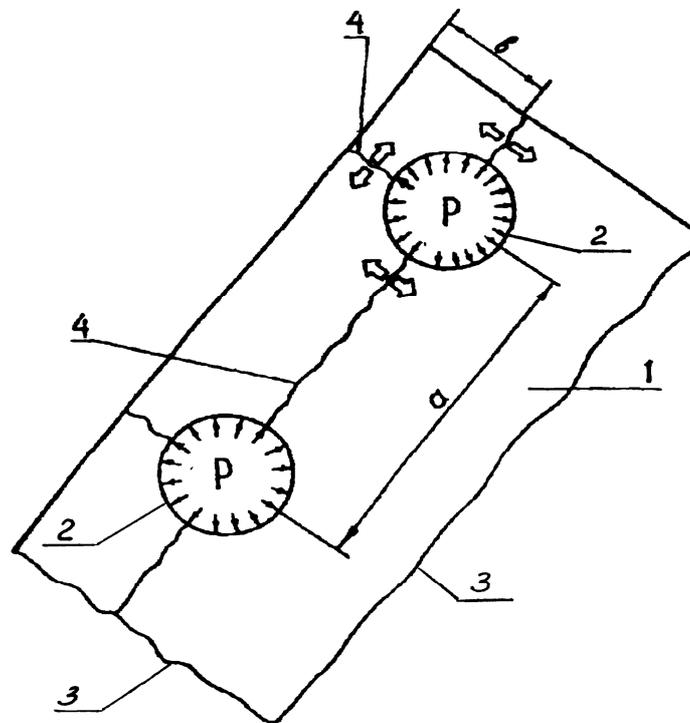


Рисунок 8.1 - Механизм действия НРС: 1 – объект разрушения; 2 – шпуры, заполненные рабочей смесью; 3 – свободные поверхности объекта; P – давление в шпуре (кристаллизационное давление), растягивающие силы; 4 – трещины, образовавшиеся под действием НРС; a – расстояние между шпурами; b – расстояние от центра шпура до свободной поверхности объекта

При использовании НРС следует соблюдать ряд технологических рекомендаций:

- минимальная ширина отделяемого монолита должна составлять не менее расстояния между шпурами;

- глыба должна иметь не менее трех свободных поверхностей обнажения;
- ориентация плоскости откола должна совпадать с направлением слоистости глыбы породы.

На основании лабораторных опытно-промышленных испытаний разработан рациональный паспорт отбойки блоков (рис.8.2).

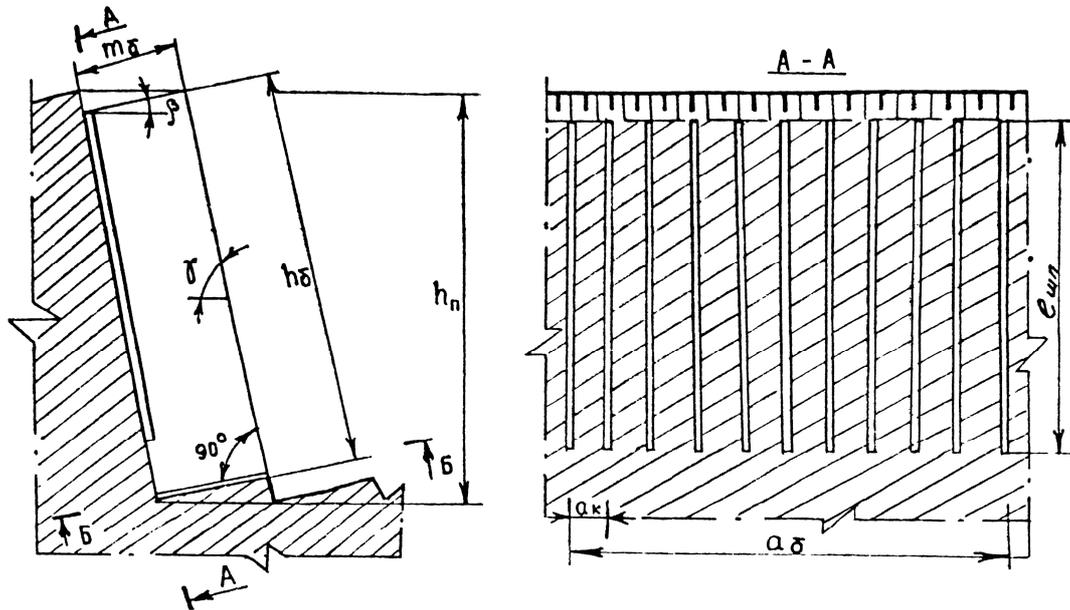


Рисунок 8.2 - Рекомендуемый паспорт невзрывной отбойки блоков

В табл. 8.1 приведены основные показатели испытаний.

Проведенные опытно-промышленные испытания показали, что использование комбинированного способа для отбойки блоков от массива позволяет:

- увеличить расстояние между шпурами в 2...2,5 раза по сравнению с буроклиновым способом;
- снизить объем буровых работ в 3 раза по сравнению с буроклиновым способом, улучшить качество раскола и снизить потери кондиционного сырья;
- исключить трудоемкие ручные операции при клиновой разделке монолитов камня, улучшить условия труда и снизить общую трудоемкость добычи сырья.

Одним из актуальных горнотехнических вопросов при добыче высококачественного жильного кварца для систем очистки (фильтрации) воды является сокращение переизмельчения и повышение выхода кондиционного кварцевого сырья.

Для изыскания оптимальной технологии добычи жильного кварца на руднике Додо (Приполярный Урал) были проведены сравнительные производственные испытания двух способов отбойки: буровзрывного и буроклинового. Для добычи кварца применяется система с magazинированием руды. Мощность обрабатываемых кварцевых жил достигает 2...3 м.

Таблица 8.1. Основные показатели

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Параметры
1	Высота уступа	м	2,0
2	Параметры отбиваемого блока:		
	высота, h_b	м	2,0
	ширина, a_b	м	2,0
	толщина, t_b	м	0,5
3	Объем блока	м ³	2,0
4	Угол наклона отбиваемого блока к горизонту β	град.	10
5	То же к вертикали γ	град.	80
6	Форма блока	-	Параллелепипед
7	Диаметр шпуров d_m	м	0,042
8	Расстояние между шпурами:		
	крутонаклонными, a_k	м	0,25
	полозовыми, a_n	м	0,5
9	Длина крутонаклонных шпуров, $l_{ин}$	м	1,8
10	Длина полозовых шпуров	м	0,5
11	Выход блока на 1 м шпура	м ³ /м	0,14
12	Расход НРС / вода (на блок 2 м ³)	кг	36/12
13	Количество клиньев (на блок 2 м ³)	шт	12
14	Расход НРС на 1 м ³ блока чаройта	кг/м ³	18,0

8.2 Условия применения невзрывных расширяющихся смесей

Время образования трещин (от момента заполнения шпуров рабочей смесью) в разрушаемом объекте зависит от следующих факторов:

- прочности материала объекта (с ее повышением продолжительность образования трещин увеличивается);
- повышения температуры объекта (ускоряет процесс образования трещин);
- расстояния между шпурами (его уменьшение ускоряет процесс образования трещин, но повышает расход НРС);
- содержания воды в рабочей смеси (его повышение замедляет процесс образования трещин);
- увлажнения поверхности разрушаемого объекта (наличие воды в зоне образования трещин увеличивает их ширину).

Начало образования трещин происходит через 12-20 часов после заливки рабочей смеси в шпур в зависимости от условий применения НРС. Рекомендуется после появления даже волосяных трещин полить поверхность разрушаемого объекта водой или водным раствором ПАВ. Распыление воды, особенно водного раствора ПАВ, в зоне образования трещин способствует увеличению их ширины. Условия использования НРС приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Условия применения невзрывных расширяющихся смесей

Наименование	Страна-изготовитель	Ø шпура, мм	Температура окружающей среды, °С	Температура смеси, °С	Продолжительность разрушения, часов
НРС-1	Россия	26-44	2-30	10-20 летом 20-50 зимой	до 72
Термит	Россия	26-44	до -5		24-48
S-mite A	Япония	данных нет	10-20	5-15	10-20
S-mite B	Япония	40	20-35	5-10	10-20
S-mite S	Япония	30-50	до 10	5-20	10-20
D Maxdinamit Cement	Испания	35-40	5-35	20-10	12-48

Направление разрушения определяется расположением шпуров в объекте. Обычно образующиеся трещины соединяют соседние шпуровые отверстия или выходят на ближайшую от шпура свободную поверхность объекта. На рис.8.3 показан ее вид через 12 и 38 часов после заливки (заметно раскрытие трещин до 12 мм).

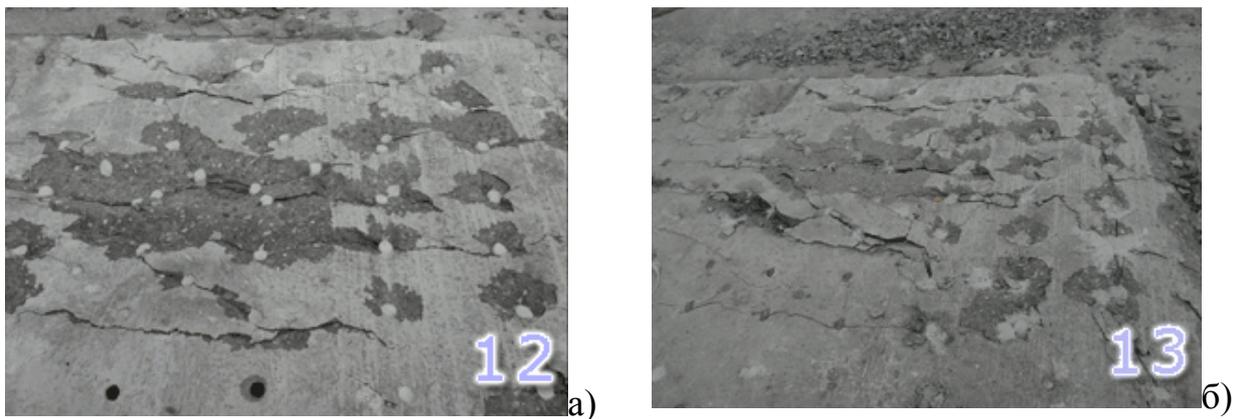


Рисунок 8.3 - Вид поверхности разрушаемого объекта через 12 и 38 часов

Расход невзрывчатого разрушающего материала на 1 м шпура зависит от его типа и условий применения. Расход НРС-1 на 1 м шпура Ø32 составляет 1,5 кг, а для Ø40 - 2,0 кг. Удельный расход невзрывчатого материала равен 8,0-16,7 кг/м³ разрушаемого объекта.

Лекция № 9

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НРС

9.1 Последовательность расчета числа шпуров

В настоящее время невозможно определить число шпуров, потребное на разрушение породного блока ($N_{ш}$), посредством теоретического расчета. Во взрывном деле эта задача решается из условий равенства между рациональной вместимостью ВВ всех шпуров и его количеством, необходимым (исходя из практики) для разрушения обуренного массива. По аналогии для невзрывчатых расширяющихся составов (НРС) получим следующее равенство:

$$q_{НРС} \cdot V_n = N_{ш} \cdot m_{НРС}, \quad (9.1)$$

где $q_{НРС}$ – удельный расход НРС на 1 м³, обуренной породы, кг/м³;
 V_n – объем обуренной породы, м³;
 $m_{НРС}$ – масса НРС в одном шпуре, кг.

Подставив в данное равенство значения входящих параметров, получим:

$$q_{НРС} \cdot S_n \cdot \ell_{ш} = N_{ш} \cdot \frac{\pi}{4} d_{ш}^2 \cdot \gamma_{ш} \cdot \ell_{ш} \cdot \rho_{НРС}, \quad (9.2)$$

где S_n – площадь поверхности блока разрушаемой породы, м²;
 $d_{ш}$ – диаметр шпура, м;
 $\ell_{ш}$ – длина шпура, м;
 $\gamma_{ш}$ – коэффициент заполнения шпура НРС.

Решая равенство относительно $N_{ш}$, получим:

$$N_{ш} = \frac{1,274 \cdot q_{НРС} \cdot S_n}{\gamma_{ш} \cdot d_{ш}^2 \cdot \rho_{НРС}}. \quad (9.3)$$

9.2 Последовательность расчета массы заряда при использовании НРС

Произведение удельного расхода НРС на сечение разрушаемых пород дает величину расхода НРС на 1 м разрушения шпура ($q_{ш}$):

$$q_{ш} = q_{НРС} \cdot S_n = \frac{m_{НРС}}{\ell_{ш}}. \quad (9.4)$$

В соответствии с законом энергетического подобия массу НРС в шпуре можно представить как эквивалент энергии, передаваемой при разрушении породам – E_o . Тогда масса НРС определяется по формуле:

$$m_{\text{НРС}} = \frac{E_o}{Q_v}. \quad (9.5)$$

При этом разрушение горных пород будет происходить только в том случае, если будет выполняться следующее условие:

$$E_o \geq \frac{[\sigma]_к \cdot \ell_{ш} \cdot S_n}{\eta}, \quad (9.6)$$

где $[\sigma]_к$ – критическая энергоплотность породы в предельной зоне напряжений, при которой наступает разрыв ее сплошности;

η – коэффициент передачи энергии от НРС разрушаемому породам.

Таким образом, для процесса разрушения породы необходимо знать критическую величину энергоплотности пород $[\sigma]_к$. Этот параметр характеризует непосредственно противодействие пород разрушению и, вероятно, зависит не только от их прочностных свойств, но и от величины внешних напряжений, воздействующих на разрушаемый массив.

9.3 Последовательность расчета расстояний между шпурами

Расстояние между шпурами должно рассчитываться по формулам (9.7) и (9.8), из которых видно, что основными характеристиками разрушаемого объекта, учитываемыми при разработке схемы бурения шпуров, являются: предел прочности при разрыве материала объекта – $[\sigma]_p$ и параметры его армирования.

$$a_{ш} = 0,9 \cdot \left(\frac{Q_a \cdot \eta \cdot \rho_{\text{НРС}} \cdot d_{ш}^2}{[\sigma]_p} \right)^{0,5}, \quad (9.7)$$

где Q_a - абсолютное выделение энергии при реакции гидратации, кДж/кг:

$$Q_a = 629,873 - (12,5 \cdot C_V \cdot T_p + 16,667 \cdot 75,296 \cdot T_p) = 75,233 \text{ кДж/кг},$$

где C_V – удельная теплоемкость при постоянном объеме (для гидроксида кальция равна 84,5 Дж/моль·град.);

T_p - температура гидратации смеси воды и оксида кальция, составляет 20...30⁰С или ≈ 298 °К;

η - коэффициент передачи энергии разрушения породам при срабатывании заряда НРС в полости шпура;

$\rho_{\text{НРС}}$ - плотность исходной смеси, то есть невзрывчатого расширяющегося состава (НРС) при гидратации:

$$\rho_{\text{НРС}} = C_g \rho_{\text{H}_2\text{O}} + C_{o.k} \cdot \rho_{\text{CaO}} = 0,3 \cdot 1000 + 0,7 \cdot 3370 = 2659 \text{ кг/м}^3,$$

где C_g – доля воды в смеси, равная 0,3;

$C_{o.k}$ – доля оксида кальция в смеси, равная 0,7;

ρ_{H_2O} - плотность воды, равная 1000 кг/м³;

ρ - плотность оксида кальция CaO, равная 3370 кг/м³;

$[\sigma]_p$ – предел прочности на растяжение породы (см.табл.1.1).

Расстояние между шпурами при разрушении железобетона невзрывчатыми расширяющимися системами:

$$a_{ж.б.} = 0,5 \cdot \left(\frac{Q_a \cdot \eta \cdot \rho_{НРС} \cdot d_{ш}^2}{[\sigma]_{п.б.}} \right)^{0,5}, \quad (9.8)$$

где $[\sigma]_{п.б.}$ – предел прочности при растяжении бетона, на основе которого сформирована железобетонная конструкция.

η - коэффициент передачи энергии разрушения породам при срабатывании заряда НРС в полости шпура, его максимальное значение - 0,73.

Лекция № 10

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ. ГАЗОГЕНЕРИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ.

10.1 Опытные-промышленные технологии разрушения массива

Опытные-промышленные технологии разрушения массива, возможные к применению для добычи блочного камня, делятся на:

- механические способы (клинбаба, отбойный молоток и т. д.);
- химические методы, которые основаны на растворении или разрушении материалов химически активными составами;
- высокочастотные (резонансные), например, иллюстрацией может служить разрушение хрустального бокала певцами, а так же разрушение материалов СВЧ электромагнитными волнами;
- электротермические, предусматривающие нагревание некоторого объема электромагнитным полем;
- электровзрывные, работающие за счет кратковременного, разрядно-импульсного выделения энергии в жидкости, вызывающего появление в окружающей среде (массиве) ударной волны механических напряжений;
- криогенные - разрушение расширяющимися материалами, к ним относятся замораживание воды в разрушаемом объекте и применение деревянных клиньев.

Резонансный метод основан на использовании энергии горного массива. Опишем явление резонанса с точки зрения физики. В системе при возбуждении колебаний под действием периодически изменяющейся внешней силы амплитуда колебаний сначала постепенно увеличивается. Через некоторое время после начала действия переменной силы устанавливаются вынужденные колебания с постоянной амплитудой и с периодом, равным внешней силы. Амплитуда установившихся вынужденных колебаний определяется амплитудой действующей силы и потерями энергии в колебательной системе. Потери энергии в колебательной системе при установившихся вынужденных колебаниях за период работы внешних сил за это же время.

СВЧ-метод. При разрушении массива сверхвысокими частотами (СВЧ), диапазон которых начинается с 300 МГц (длина волны в воздухе 1 м) и простирается до 3×10^{11} Гц (длина волны 1 мм), энергия передается породе бесконтактно. При этом методе электромагнитную волну вводят в массив, а с противоположной стороны устанавливают экран так, чтобы вектор напряженности электрического поля был направлен перпендикулярно к его поверхности. В этом случае от экрана отражается падающая на него волна, которая, складываясь с прямой, разрушает массив. Наиболее приемлемыми генераторами для разрушения блоков являются магнетроны, излучающие электромагнитную волну длиной около 1 м в воздухе.

При этом мощность генератора должна быть порядка -30 кВт. Энергоемкость разрушения равна 3-7 МДж/м³, а производительность установки

- до 30 м³/ч. Для устранения утечек электромагнитного излучения в окружающее пространство разрушаемый блок полностью экранируют металлической соткой. Этот способ целесообразно применять в диэлектрических породах типа гранита, известняка.

Вода поглощает СВЧ, испаряется, а пары создают давление в порах порядка $2 \cdot 10^7$ Па, что значительно увеличивает производительность разрушения породы. При влажности песчаника около 1 % энергоемкость отбойки составляет 150 МДж/м³ отбитой породы. В сухой породе энергоемкость отбойки достигает 200 МДж/м³. Представляет интерес применение СВЧ для ослабления прочности мерзлых пород. Обработка СВЧ распространяется на слой толщиной до 0,5 м, после чего в обработанной породе может работать обычная землеройная техника.

Электротермический способ. Длительное воздействие электромагнитного поля при невысокой концентрации энергии вызывает нагревание определенного объема массива и появление растягивающих напряжений, рост трещин и, в конечном счете, разрушение породы. На этом принципе основаны электротермические способы разрушения. Нагретый генератором электромагнитной энергии объем (рабочее тело) производит разрушение окружающей породы. Этот способ применяют в различных технологических операциях: для разрушения отдельных блоков, для отбойки отдельных кусков и блоков от массива, для ослабления прочности массива, в комбинации с другими способами разрушения, например, с механическим. Высокочастотная установка для разрушения породы диэлектрическим нагревом включает генераторный блок; блок питания; блок управления, содержащий контрольные приборы, реле и средства управления; блок согласования, позволяющий изменять полное сопротивление генератора.

Установка генерирует электромагнитное поле разрешенных для промышленного применения частот 5,28; 13,56; 27,12 МГц. Данные частоты достаточны для формирования рабочего тела в таких диэлектрических породах как гранит, известняк, сиенит, гнейс. Высокочастотная установка монтируется на автомобиле и питается от сети напряжением 0,4 кВ. При использовании этого метода в рабочем теле бурят шпур диаметром 15-20 мм глубиной 30-50 мм. В шпур вставляют электрод. Второй вывод установки заземляют. Включают высокочастотное напряжение. Формируемое рабочее тело имеет радиус 10-15 см и формируется за 10-15 мин. Первоначальные трещины возникают через 2-5 мин. Во время работы установки опасная зона имеет радиус 8-10 м. Во время образования рабочего тела и разрушения массива электрические свойства породы изменяются, что изменяет полное сопротивление нагрузки генератора в 2-5 раз. Поэтому, используя блок согласования установки можно согласовывать полные сопротивления генератора и нагрузки, не допуская потерь энергии.

Для увеличения производительности установки к ней подключают параллельно несколько электродов и разрушают несколько блоков с одинаковыми параметрами.

Рациональные параметры высокочастотной установки:

- мощность 100-150 кВт;
- рабочее напряжение 15--18 кВ.

При разрушении блоков производительность равна от 25 до 50 м³/ч.

Разрядно-импульсный метод (электровзрыв). Кратковременное, разрядно-импульсное выделение энергии в жидкости вызывает появление в окружающей среде (массиве) ударной волны механических напряжений, которая ее (его) и разрушает. Разрядно-импульсный способ отличается от электротермических кратковременностью протекающих процессов и похож на взрывной, но в отличие от последнего полностью управляем.

При этом электрогидравлическая установка подключается к сети переменного, тока напряжением 220 (380) В и промышленной частотой 50 Гц. Высоковольтным трансформатором это начальное напряжение повышают до 2-60 кВ, а высоковольтным выпрямительным устройством преобразуют переменный ток в постоянный. Накопление электрической энергии осуществляется в конденсаторной, батарее.

Особенности разрядно-импульсного воздействия на минеральную среду:

- основное влияние волновых процессов приводит к бризантному характеру воздействия и практическому отсутствию смещения разрушенных частей породного массива;
- интенсивное поглощение энергии при ее рассредоточении по длине источника и образующийся цилиндрический фронт волн обуславливает локализацию воздействия узкой зоной незначительного распространения вглубь породы. Это определяет избирательность разрушающего воздействия и возможность сочетания зон разрушения с охраняемыми зонами.

10.2 Газогенерирующие составы

Для получения блоков нужного размера применяют специальные пиротехнические газообразующие материалы (ГОМ). Они создают давление в шпуре при медленном нагружении за счёт реакции горения в дефлаграционном, а не в детонационном режиме.

ГОМ состоят из окислителей (перхлората аммония, перхлората калия, нитрата аммония или калия) и горючих связующих. При испытаниях использовались составы под названиями ГОМ-1, ГОМ-2, ..., ГОМ-7, состоящие из малотоксичных недорогих компонентов.

Испытания в манометрической бомбе (МБ)

Для выбора эффективных составов в качестве основных критериальных показателей используются максимальное давление, P_{\max} , и скорость его изменения, $\Delta P/\Delta t$. Для их экспериментального определения проведены стендовые испытания в манометрической бомбе (МБ) возрастающего давления.

Условия испытаний:

- объем камеры МБ – 125 см³;
- образцы ГОМ Ø18, массой 7 г;
- воспламенитель - дымный ружейный порох марки ДРП-1 массой 1 г;
- средство инициирования – электровоспламенитель ЭВФ.

В процессе горения для каждого образца регистрировались скорость горения (U , м/с) и строились кривые «давление – время» ($P(\tau)$), данные для которых приведены в табл.10.1. Наиболее показательные кривые представлены на рис.10.1.

Таблица 10.1. Энергетические характеристики исследуемых составов ГОМ и результаты определения основных показателей образцов

Наименования характеристик и показателей	Значения характеристик и показателей составов ГОМ						
	ГОМ-1	ГОМ-2	ГОМ-3	ГОМ-4	ГОМ-5	ГОМ-6	ГОМ-7
Q , кДж/кг	4072	3090	2846	2830	3870	4050	2788
$V_{уд}$, л/кг	560	728	1000	510	801	459	890
T_r , °С	3300	2820	2030	2067	3224	3296	1830
ρ , г/см ³	1,35	1,23	0,67	0,46	0,37	0,55	0,91
U , м/с: - за время τ_1 ; - за время τ_2	1,48 2,06	0,59 0,67	0,08 0,09	0,50 0,60	2,14 3,00	7,14 7,14	0,41 0,62
P_{max} , МПа	56	57	41,5	27,0	70,5	52	42
$\Delta P/\Delta t$, МПа/с: - за время τ_1 ; - за время τ_2	3143 4400	898 1029	50 32	269 269	2009 2812	7257 7257	341 481

τ_1 – время от начала зажигания воспламенителя до конца горения образца;

τ_2 – время от начала зажигания образца до конца его горения.

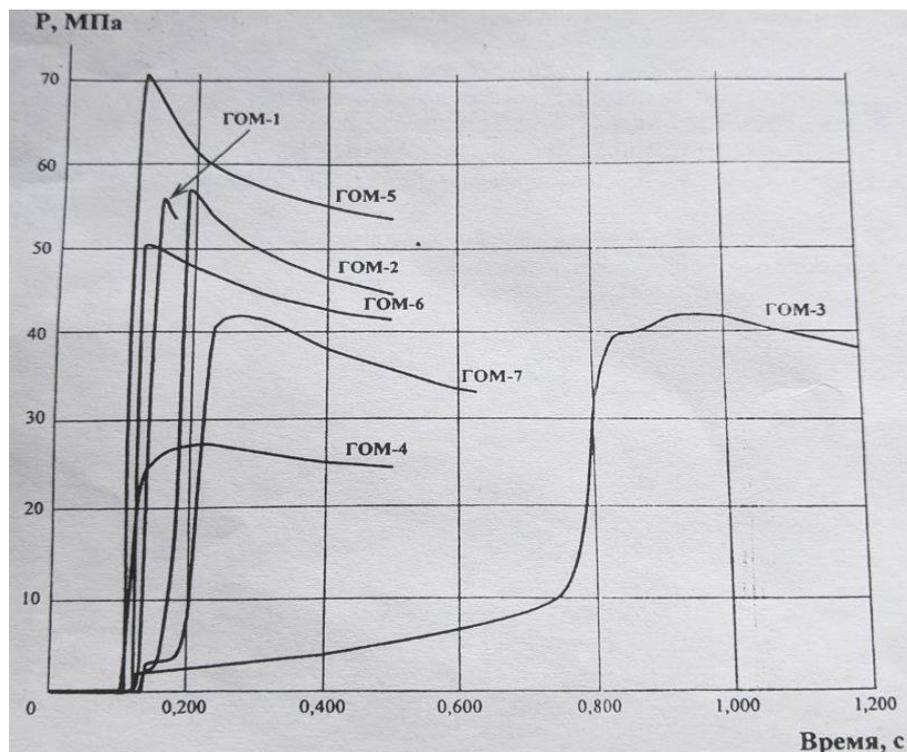


Рисунок 10.1 – Кривые «давление – время» при горении образцов ГОМ в МБ

Испытания в условиях, имитирующих натуральный шпур

С целью экспериментального определения возможности перехода горения в детонацию и оценки работоспособности составов ГОМ в условиях, имитирующих натуральный шпур при отбойке блочного камня, проведены испытания в металлических трубах $\varnothing 40$ длиной 1,5 м. С одного торца трубы заваривались стальной пластиной толщиной 3,5 мм. В трубе у заваренного торца размещали испытываемый заряд. В качестве забойки использовался песок. Открытый торец трубы забивали деревянной пробкой.

Условия испытаний:

- заряды ГОМ массой 100 г;
- воспламенитель – ДРП-1;
- средство инициирования - ЭВФ.

На рис.10.2 представлены фотографии внешнего вида после проведения испытаний.

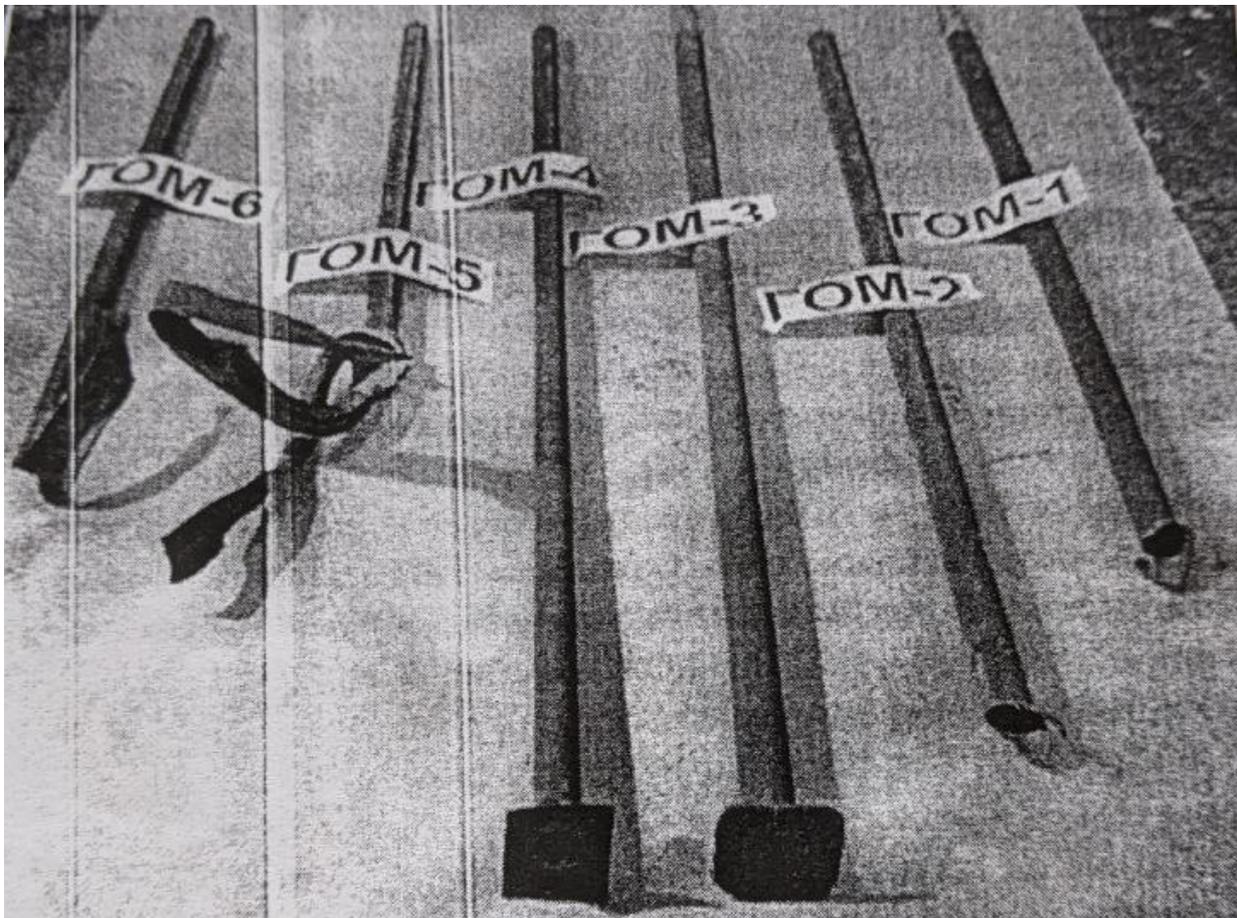


Рисунок 10.2 – Внешний вид труб после сгорания в них зарядов из разных ГОМ

Испытания показали, что составы ГОМ-3и ГОМ-4 практически не оказали воздействия на трубу. Воздействие усиливается по мере увеличения P_{\max} и $\Delta P/\Delta t$.

Наилучшую работоспособность показали составы ГОМ-5 и ГОМ-6.

Опытно-промышленные испытания

Испытания проводились на карьерах ОАО «МКК Алтаймраморгранит» при отбойке блочного мрамора.

Условия испытаний:

- составы представлены в виде цилиндрических патронов массой 200 г в бумажной оболочке;
- длина шпуров:
 - при отделении блока от массива – до 4,5 м;
 - при разделке блока на части – 1,1-1,5 м;
- расстояние между шпурами 35-90 см;
- недобур 20-30 см от дна;
- воспламенитель состоит из ЭВФ и 5 г ДРП;
- забойка глиняная.

Первый вид испытаний проведен для оценки эффективности составов при разделке блоков мрамора на элементы. Результаты показали, что наиболее мягкое воздействие на блок получено при испытаниях ГОМ-2 и ГОМ-7. При этом блоки раскалывались на крупные товарные части. В процессе испытаний было разделано около 200 м³ камня. Случаев перехода горения в детонацию не наблюдалось.

Во втором виде испытаний при отбойке блоков от массива результаты показали, что эффективными оказались составы с более высокими отношениями $\Delta P/\Delta t$. Так, при использовании ГОМ-1 ($P_{\max}=56$ МПа, $\Delta P/\Delta t=3143$ МПа/с) блок отделился на 2-3 см, в то время как при использовании ГОМ-2 ($P_{\max}=57$ МПа, $\Delta P/\Delta t=898$ МПа/с) отделения блока не произошло.

Также на эффективность воздействия повлияла трещиноватость массива.

Т.о. для практического применения следует применять составы, обеспечивающие P_{\max} не 50 МПа и скорость $\Delta P/\Delta t$ не менее 3000 МПа/с.

В качестве *общих выводов* также можно добавить, что составы ГОМ:

- имеют относительно низкие чувствительности к механическим воздействиям и приемлемый уровень технологических характеристик для изготовления зарядов различных форм и размеров;
- способны к устойчивому горению в широком диапазоне давления;
- дают при горении малотоксичные газообразные и конденсированные продукты сгорания.

Недостатком способа отбойки блоков с использованием НРС является то, что давление, создаваемое рабочей смесью в верхней части шпура, меньше, чем в нижней части. Поэтому плоскость раскола глыб формируется медленно и неравномерно. Для создания дополнительных распирающих усилий в приустьевой части шпуров применяют дополнительное клиновое устройство невзрывного разрушения.

ТЕМА 4: МЕХАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛЕНИЯ БЛОКОВ ОТ МАССИВА

Лекция № 11

ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ КАМНЕБЛОКОВ

11.1 Особенности специальных методов и средств направленного отделения блоков или штучного камня от массива

Сохранение физико-механических свойств и декоративности, а также достижение определенных размеров и формы камня возможны при использовании специальных методов и средств направленного отделения блоков или штучного камня от массива.

При механическом (безвзрывном) отделении крупных монолитов камня от массива используются буроклиновой способ, терморезаки, канатные пилы, ченнелеры и бурогидроклиновой способ; крупные монолиты затем разделяют на товарные блоки. На рис.11.1 приведены технологии добычи блоков на месторождениях камня средней твердости с детализацией.



Рисунок 11.1 - Технологии добычи блоков на месторождениях камня средней твердости

Камни средней твердости сравнительно легко поддаются не только обработке скалываем, но в равной мере и резанием. Поэтому в технологическом процессе их добычи можно использовать оба способа. Породы, не содержащие твердых включений (такие как белый мрамор и некоторые виды известняков и туфов), добывают исключительно резанием. При наличии в породе твердых включений предпочтительно использовать скалывание или комбинированные способы.

Облицовочный камень средней твердости можно добывать с помощью машин, использующих принцип резания. В свою очередь резание может осуществляться двумя видами рабочих органов:

- резцами (твердосплавными или алмазными);
- зерновым абразивом.

В силу конструктивных особенностей машины с рабочим органом в виде резцов предназначаются для вырезки из массива блоков (инструмент не может делать глубоких резов). Машины, работающие с зерновым абразивом и выполняющие глубокие резы, используют для отделения от массива крупных монолитов, разделяемых затем на блоки требуемых размеров. Машины с инструментом в виде кольцевой фрезы, а также дисковые и баровые относятся к первому типу; канатная пила – ко второму.

11.2 Способы подготовки к выемке блоков естественного камня

Для непосредственного отделения от массива стенового камня или облицовочных блоков применяют камнерезные машины.

Способы подготовки к выемке блоков естественного камня с их использованием приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1. Способы подготовки к выемке блоков естественного камня

Способ	Рабочий орган	Принцип действия рабочего органа
Камнерезными машинами с кольцевой фрезой	Кольцевая фреза с твердосплавными резцами	Врубовой режущий
Канатными пилами	Стальной канат с кварцевым песком	То же
Камнерезными машинами с алмазными отрезными кругами	Алмазные отрезные круги диаметром 2-5-3,0 м	То же
Буроклиновой(бурение ручное и с кареткой)	Буровые коронки, сложные клинья	Бурильный ударно-вращательный
Бурогидроклиновой	Буровые коронки, гидро- клинья	То же
Ударно-врубковыми машинами (ченнелерами)	Набор долот	Врубовой ударный

На ряде гранитных карьеров внедрена термическая резка, схема установки приведена на рис.11.2.

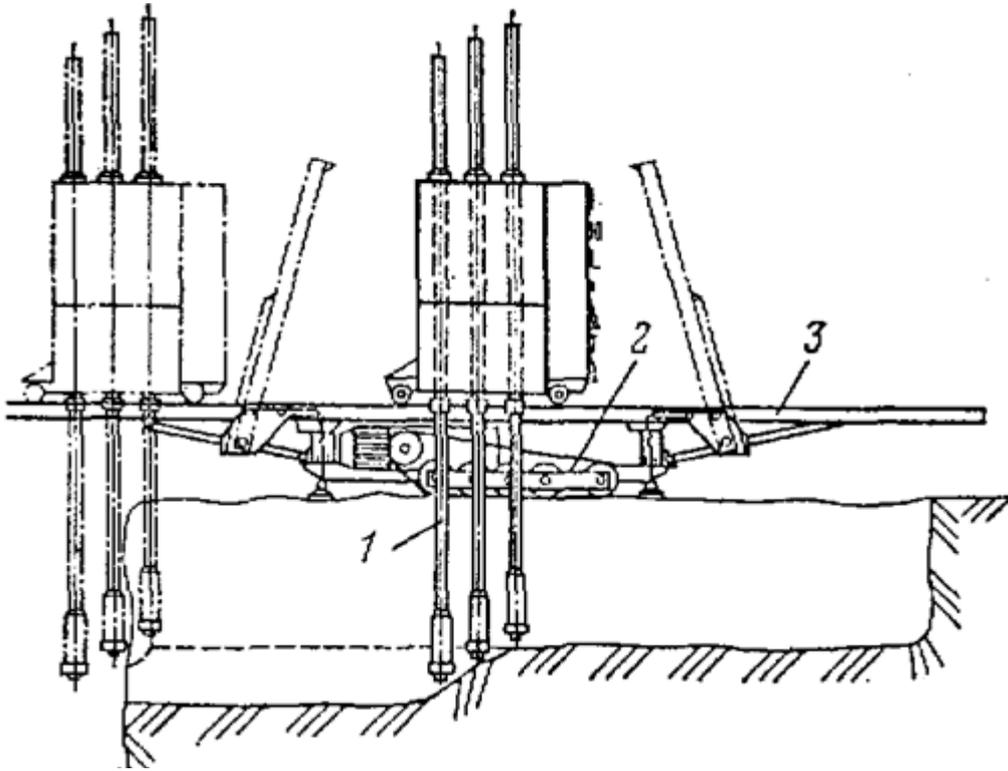


Рисунок 11.2 – Схема установки УКР-2 для газоструйной резки гранита:
1 – терморезак; 2 – самоходная тележка; 3 – рама

Применение взрывчатых веществ при добыче блоков на месторождениях камня средней твердости не рекомендуется, так как это приводит к появлению трещин в массиве и нарушению его сплошности.

Лекция № 12

БУРОКЛИНОВАЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ КАМНЕБЛОКОВ

12.1 Буроклиновой способ подготовки блоков к выемке

При буроклиновом способе подготовка блоков к выемке состоит из двух взаимосвязанных процессов:

- бурения рядов сближенных шпуров в вертикальном, горизонтальном и наклонном направлениях по принятым плоскостям;
- последующего клинового откола камня.

При разделке гранитных монолитов на кондиционные блоки шпуры диаметром 20-40 мм бурят на глубину 80-100 мм, расстояние между шпурами составляет 0,05-0,1 м. В шпуры вставляют простые или сложные (состоящие из двух щечек и собственно клина) клинья.

При разработке мраморных месторождений шпуры бурят на всю высоту или ширину блока. Расстояние между ними составляет 0,1-0,2 м в зависимости от способности мрамора к расколу и размеров добываемых блоков, на 1 м³ горной массы бурят до 6-10 м шпуров. Производительность труда бурильщика при бурении горизонтальных шпуров составляет 15-20 м/смену, вертикальных – 25-35 м/смену. Производительность труда рабочего по отколу 2-3 м³/ч. Суммарная производительность труда рабочего по производству готовых блоков 0,2-0,6 м³/смену, трудоемкость работ при этом равна 1,7-5 чел-смен/м³.

Ударно-врубовые машины (*ченнелеры*).

Рабочим органом этих камнерезных машин является комплект долот, которым сообщается возвратно-поступательное движение. При перемещении ченнелера по рельсам долота наносят удары по горной породе, разрушают ее и образуют врубовую щель шириной до 50-60 мм и глубиной до 6 м.

Организация работ при использовании ченнелеров предусматривает проведение вертикальных или наклонных врубов (в зависимости от трещиноватости или слоистости полезной толщи) на значительной площади кровли разрабатываемого слоя. Затем проводят разрезную траншею и производят горизонтальную отбойку нарезанных ченнелерами блоков (чаще всего буроклиновым способом), подготовливая таким образом к выемке весь слой. Производительность ченнелеров составляет 0,8-1,2 м³/ч или 5-8 м²/смену. Недостатками их применения являются:

- увеличенная ширина вруба;
- большая энергоемкость разрушения;
- возможное нарушение прочности камня из-за большой энергии одиночного удара.

Достоинства буроклинового способа подготовки мраморных блоков:

- простота;
- максимальное использование природных трещин;

- возможность применения в сложных горно-геологических условиях и отбойки блока любого размера и любой прочности.

Также недостатками являются большой удельный вес ручного труда, низкая производительность труда, высокие себестоимость блоков и трудоемкость работ, сложность обеспечения безопасности работ.

В зарубежной практике (США, Франция, Бельгия, Италия, Швеция) при буроклиновом способе подготовки блоков широко используются вертикальные, горизонтальные и наклонные каретки и станки колонкового бурения.

Буроклиновой способ редко используют самостоятельно. Как правило применяют его в комбинации с другими механизированными способами. Главным назначением буроклинового способа является создание напряжений точно в раскалываемой плоскости, а за ее пределами камень не должен подвергаться разрушающим воздействиям.

12.2 Схема ведения буроклиновых работ

Последовательность ведения буроклиновых работ схематично может быть представлена следующим образом (рис.12.1). Стрелкой показано направление работ по добыче камнеблоков.

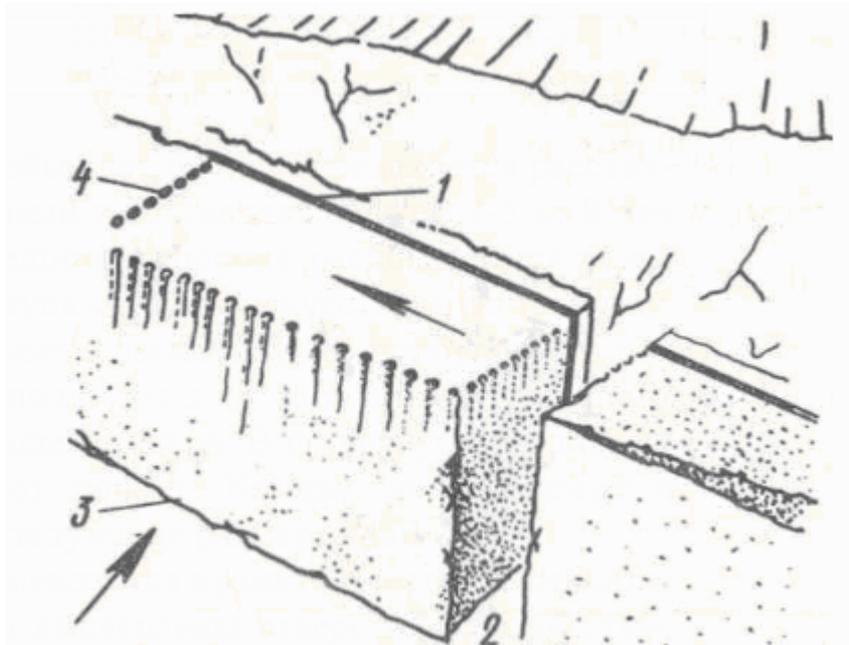


Рисунок 12.1 – Схема ведения буроклиновых работ: 1 – цель вруба; 2- заходная траншея; 3- природная трещина; 4 - шпур

На уступе, в подошве которого при правильном ведении работ лежит природная трещина 3, способом сплошного отделения или при помощи мелкошпурового бурения – взрывами, проходят так называемую заходную траншею 2, создающую третью свободную грань на уступе, с которого начинают добывать блоки.

Затем создают заднюю грань намеченного к отделению монолита (если

существует природная трещина, то эта операция отсутствует) путем прорезания щели-вруба *l* терморезаком или ударной врубовой машиной.

По оставшейся шестой грани монолит откалывают от массива клиньями. Для этой цели в плоскости намеченного откола с помощью пневматических перфораторов пробуривают шпуры 4. Их глубина, диаметр и частота расположения зависят от многих факторов и могут быть указаны лишь приблизительно. Обычно при высоте раскола, производимого в плоскости наименьшего сопротивления, равного 1 м, шпуры имеют диаметр 25-35 мм и глубину 100-150 мм. Диаметр шпуров в случае работы на породах, лишенных четко выраженного кливажа или под углом к плоскости наилучшего раскалывания, несколько увеличивают, поскольку усилие, прилагаемое к клину, будет повышенным. Расстояние между шпурами сокращают до 100 мм, а глубину увеличивают до половины и даже двух третей высоты откалываемого монолита.

12.3 Типы клиньев

Перспективным в направленном отколе блоков от массива или от крупных монолитов мрамора является применение закладных клиньев с гидравлическим приводом (рис. 12.1.)

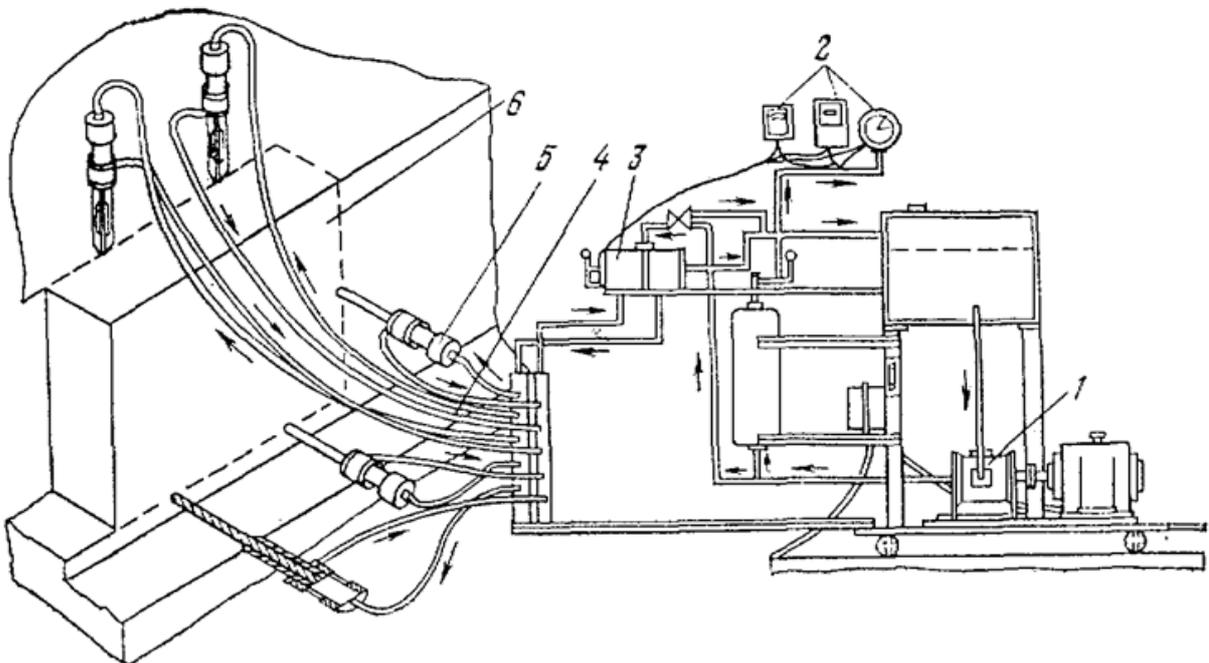


Рисунок 12.2 – Схема гидроклиновой установки: 1 - насос; 2 – измерительная аппаратура; 3 – золотниковый распределитель; 4 – шланг; 5 – закладные гидроклинья; 6 – породный блок

Использование таких клиньев позволяет увеличить расстояние между шпурами до 0,3-0,4 м, что значительно сокращает объем выполняемых буровых работ и повышает производительность труда рабочих.

Высота уступов, на которых добывают блоки, определяется расстояниями

между имеющимися трещинами и составляет обычно 3-5 м. В тех случаях, когда горизонтальные трещины в породе располагаются реже, на уровне намечаемой подошвы уступа создают искусственную трещину путем пробуривания ряда параллельных шпуров. В шпуры устанавливают клинья (рис.12.3) со щечками, и раскалывают породу.

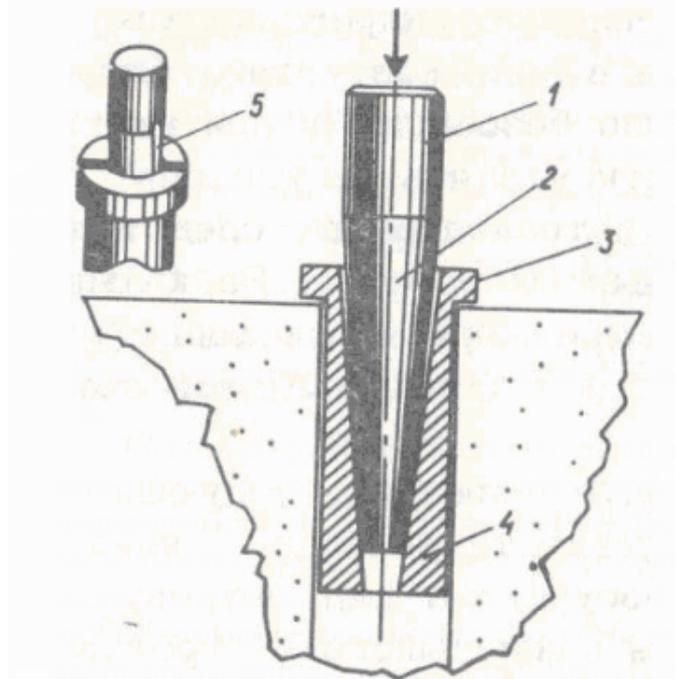


Рисунок 12.3 - Клин для разделывания камня

Клин имеет в верхней части цилиндрическую форму (1), а в нижней – коническую (2). Угол заострения (угол у вершины конуса) составляет $10-12,5^\circ$, что позволяет развить большое раскалывающее усилие.

Для предотвращения быстрого износа клина, а также в целях равномерного распределения раскалывающего усилия последний вводят в шпур со щечками (4), имеющими в своей нижней части, утолщение, соответствующее углу заострения клина.

Клинья, используемые в практике добычных работ, имеют размеры, приведенные в табл.12.1.

Таблица 12.1. Размеры клиньев

Площадь раскалывания, м ²	Размер клина, мм	
	длина	диаметр
Менее 1	120 - 150	25
От 1 до 2	150 - 200	30- 35
Более 3	200 - 250	35 - 55

Клинья диаметром 25 мм рекомендуется хранить вместе со щечками в специальном футляре, в котором высверлены отверстия, соответствующие диаметру щечек. Количество клиньев в комплекте 10-15 штук.

Лекция № 13

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ КАМНЕБЛОКОВ КАНАТНЫМИ ПИЛАМИ И КАМНЕРЕЗНЫМИ МАШИНАМИ

13.1 Канатные пилы

Канатные пилы (рис. 13.1) различных конструкций являются основным средством направленного отделения мраморных блоков от массива и монолитов.

Процесс пиления, осуществляется за счет абразивного действия кварцевого песка, непрерывно подаваемого с водой в забой. Производительность канатных установок составляет 1,2-1,5 м²/ч.

Достоинства канатных пил: простота конструкции и обслуживания, получение блоков необходимого размера и правильной формы, относительно невысокая энергоемкость пропила.

Недостатки: сезонность работы, резкое снижение эффективности при наличии твёрдых включений и повышенной трещиноватости массива, большой объем горно-подготовительных работ.

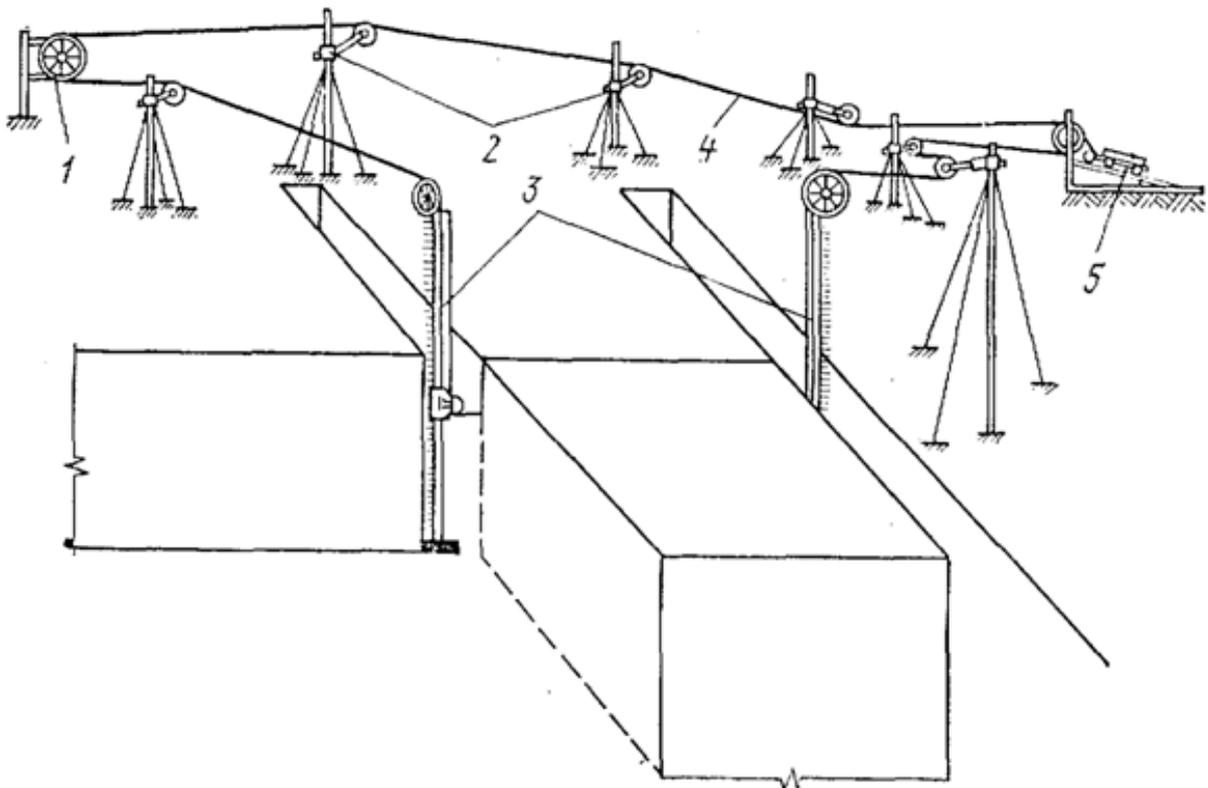


Рисунок 13.1 - Схема канатной пилы: 1 - приводная станция; 2 - направляющие шкивы; 3 - пильные стойки; 4 - канат; 5 - натяжное устройство

13.2 Камнерезные машины

Камнерезные машины разделяются на дисковые, баровые и с кольцевой фрезой.

Подготовка пильного камня к выемке включает три операции (рис. 13.2).

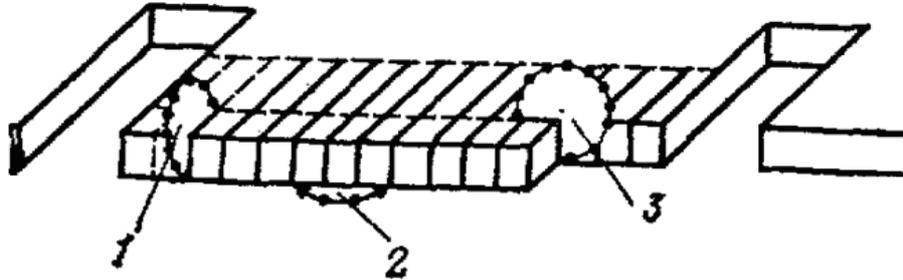


Рисунок 13.2 - Схема очередности пропилов при работе каменных машин:
1 - нарезка поперечных пропилов; 2 - горизонтальный пропил на длину заходки и нарезка затыловочного пропила; 3 - отделение камня от массива по всей длине заходки

При добыче крупных блоков известняка и мрамора широко распространен алмазный инструмент. В Бельгии и Франции эффективно используются камнерезные машины, оснащенные алмазными сегментными отрезными кругами диаметром 2,5 и 3 м.

Алмазные отрезные круги диаметром 0,5-0,8 м широкое применение получили в США, где ими оснащаются малогабаритные добычные камнерезные машины, а также в Австралии при разработке песчаника.

Для подготовки к выемке крупных блоков применяют также камнерезные машины с цепными (баровыми) режущими органами.

Камнерезная машина КБЦ-3а (рис. 13.3) вырезает блоки размером 1 x 1 x 1,3 м, производительность ее в смену доходит до 18 м³.

К достоинствам камнерезных машин с цепными режущими органами относятся:

- малые размеры и масса;
- маневренность в забое;
- относительно небольшая энергоемкость резания;
- возможность осуществления глубоких пропилов.

Вместе с тем этому типу режущего органа свойственен ряд недостатков, основными из которых являются быстрый износ (вследствие большого числа подвижных звеньев) и наличие больших динамических нагрузок.

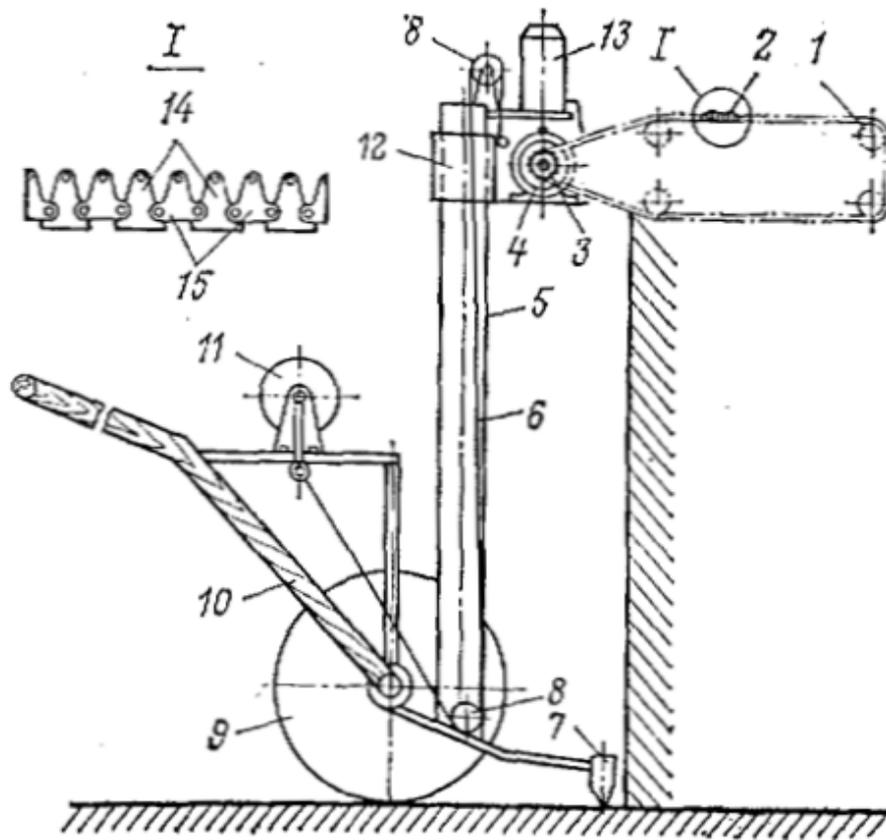


Рисунок 13.3- Схема камнерезной баровой машины КБЦ-За:
 1 - бар; 2 - цепь; 3 - звездочка; 4 - электродвигатель; 5 - колонка; 6 - трос;
 7 - кронштейн; 8 - ролики; 9 - колесо; 10 – ручка; 11 - лебедка; 12 - головка;
 13- бачок с водой; 14 - твердосплавные пластинки; 15 - планки

ТЕМА 5: ОБРАБОТКА КАМНЕБЛОКОВ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА

Лекция № 14

ПРИМЕНЕНИЕ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ НА ОСНОВЕ УКЗ ПРИ ОБРАБОТКЕ И ПАССИРОВКЕ БЛОКОВ ГРАНИТА

14.1 Исследование механизма разрушения различных типов горных пород взрывами удлиненных кумулятивных зарядов

Для того, чтобы установить оптимальные геометрические параметры удлиненных кумулятивных зарядов (УКЗ), проведены исследования механизма разрушения с их помощью различных типов горных пород. Исследования имели следующие цели:

- определение параметров разрушения;
- распределение энергии взрыва в среде вокруг УКЗ;
- формирование поля напряжения в материале модели.

Положительные результаты, полученные при экспериментальных исследованиях по направленному разрушению моделей из горных пород взрывом УКЗ, позволили предположить возможность их использования при контурном взрывании и отделении камнеблоков крепких горных пород от массива.

Направленное разрушение пород при контурном взрывании существенно уменьшает величину разрушения напряженного горного массива за проектным сечением выработки, позволяет сократить затраты на поддержание выработок, так как снижается зона искусственного трещинообразования в массиве, сохраняется прочность пород и уменьшаются затраты на крепление выработок за счет более ровного проектного контура.

Именно к перечисленным выше факторам должно привести использование удлиненных кумулятивных зарядов с продольной кумулятивной выемкой.

В настоящее время промышленностью налажен выпуск таких зарядов длиной 0,5-2 м, диаметром 7, 9, 12 мм с линейной массой ВВ 15, 30, 50 г/м, соответственно.

Для данных типов УКЗ была разработана конструкция шпурового заряда [Авт.свид. № 11356]. Конструкция шпурового заряда на основе УКЗ представляет собой несущие отрезки полиэтиленовой трубы, снабженной посадочными гнездами, в которые устанавливаются кумулятивные заряды. Крепление последних к втулкам осуществляется резиновыми кольцами.

Заряды в шпурах располагаются таким образом, чтобы УКЗ были ориентированы по линии оконтуривающих шпуров. Резиновые кольца кроме крепления зарядов обеспечивают установку УКЗ на оптимальном расстоянии от стенок шпура.

14.2 Эксперименты с различной конструкцией зарядов на блочном карьере гранитов

В целях оценки перспективности применения УКЗ при направленном разрушении горных пород были проведены эксперименты с различной конструкцией зарядов на блочном карьере гранитов Ладожского карьероуправления ПО "Карелстройматериалы".

Для данного месторождения характерны породы среднезернистой структуры с категорией крепости ПО СНИП X-XI и коэффициентом крепости $f = 18-20$.

Плотность гранита $\rho = 2560 - 2730 \text{ кг/м}^3$,

Предел прочности образцов $\sigma_{сж} = (1466-2069) \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Первый опытный взрыв был проведен в отделении блока размерами 6,5 x 2 x 1,2 м. Для взрывания было пробурено восемь вертикальных шпуров диаметром 42 мм. Глубина шпуров составляла 0,75-2,1 м.

Шпуры не добуривались до подошвенной трещины на 0,1 – 0,15 м. Расстояние между шпурами устанавливалось с учетом проведенных расчетов и составляло 0,50 и 0,60 м. Линия наименьшего сопротивления $W = 1,2 \text{ м}$.

В качестве шпурового заряда использовались УКЗ с $d_{зар} = 9 \text{ мм}$ и линейной массой ВВ $m = 0,03 \text{ кг/м}$.

В каждый шпур устанавливалось по два заряда УКЗ с ориентацией кумулятивных выемок вдоль линии откола. Иницирование УКЗ осуществлялось электродетонаторами ЭД-8Ж, которые присоединялись к зарядам внакладку.

Осмотр взрыва показал, что поверхность отбитого блока была практически ровной. Блок отделился по плоскости, которую "задавали" каналы на стенках шпуров, проработанные кумулятивным ножом. При визуальном осмотре видимых трещин за пределами контура и в отбитом блоке не обнаружено.

При последующих опытных взрывах изменялись ширина блоков ($W = 1,2-2,5 \text{ м}$), расстояния между шпурами в пределах 0,5- 0,65 м. В результате опытно-промышленных взрывов были отработаны оптимальные параметры БВР. На основании этих параметров для конкретного месторождения составлен паспорт БВР на отбойку гранитных блоков шпуровыми зарядами на основе УКЗ (таблицы 14.1, 14.2).

Таблица 14.1. Параметры БВР на отбойку гранитных блоков на Ладожском карьере

Нуст, м	hшп, м	a, м	W, м	Q, кг/м	V, м ²	l, м
1,0	0,9	0,6	2	0,060	1,1	1,8
1,5	1,4	0,6	2	-	1,7	2,8
2,0	1,9	0,6	2	-	2,3	3,8
2,5	2,4	0,55	2	-	2,65	4,8

14.3 Опытные взрывы на отдельных гранитных блоках с целью их пассировки

Параллельно с обработкой параметров БВР при шпуровой отбойке блоков от массива проводились опытные взрывы на отдельных гранитных блоках с целью их пассировки.

Таблица 14.2. Параметры БВР на пассировку блоков

$H_{\text{бл}}$, м	$h_{\text{шп}}$, м	a , м	W , м	Q , кг/м
1,0	0,85	0,5	0,5 – 1,0	0,030
1,5	1,35	-	-	-
2,0	1,85	-	-	-

В блоках по линии разрушения забуривались шпуры $d_{\text{шп}} = 32$ мм. Расстояние между шпурами составляло 0,5-0,6 м. Шпуровые заряды взрывались при установке УКЗ с учетом фокусного расстояния между стенкой шпура и кумулятивной выемкой, а также при установке УКЗ вплотную к стенкам, с заполнением свободного пространства в шпуре мелким отсевом.

Разделение блоков при взрывах проходило по тонкой, без кливажа магистральной трещине, вдоль линии раскола при взрывании в шпурах одного УКЗ ($d = 9$ мм) и расстоянием между шпурами 0,5 м при $W = 1$ м.

При пассировке блоков зарядами, состоящими из двух УКЗ ($d = 6,7$ мм), магистральная трещина раскрывалась на 25-30 мм; при этом расстояние между шпурами составляло 0,55 м, а величина $W = 1,5$ м. Результаты опытных взрывов позволили разработать параметры БВР для шпуровой отбойки гранитных блоков и их пассировки.

Таким образом, применение УКЗ в качестве шпуровых зарядов позволило увеличить расстояние между шпурами при отделении блоков от массива в 1,5 раза и при пассировке в 2-2,5 раза по сравнению со значениями при производстве этих работ осесимметричными зарядами. Сравнительно невысокая линейная масса заряда при отбойке блоков (0,06 кг/м) и их пассировке (0,03 кг/м) обеспечили начальное давление в шпуре не более 20 мПа, что исключало образование дополнительных технологических трещин в пришпуровой зоне.

Лекция № 15 ОБРАБОТКА И ПОЛИРОВКА БЛОКОВ

15.1 Технологическая схема обработки камнеблоков

Для переработки на облицовочные изделия блоки камня, полученные на карьерах, поступают на камнеобрабатывающие предприятия. Процесс обработки, в результате которого камню придают требуемую форму, размер и фактуру лицевой поверхности (степень шероховатости или зеркальный блеск), включает ряд операций, выполняемых в строгой последовательности разнообразными камнеобрабатывающими станками. Т.е. на современных предприятиях обработка камня механизирована.

В зависимости от характера используемого инструмента различают два основных вида обработки: резанием и скалыванием. На рисунке 15.1 приведена технологическая схема обработки камнеблоков.

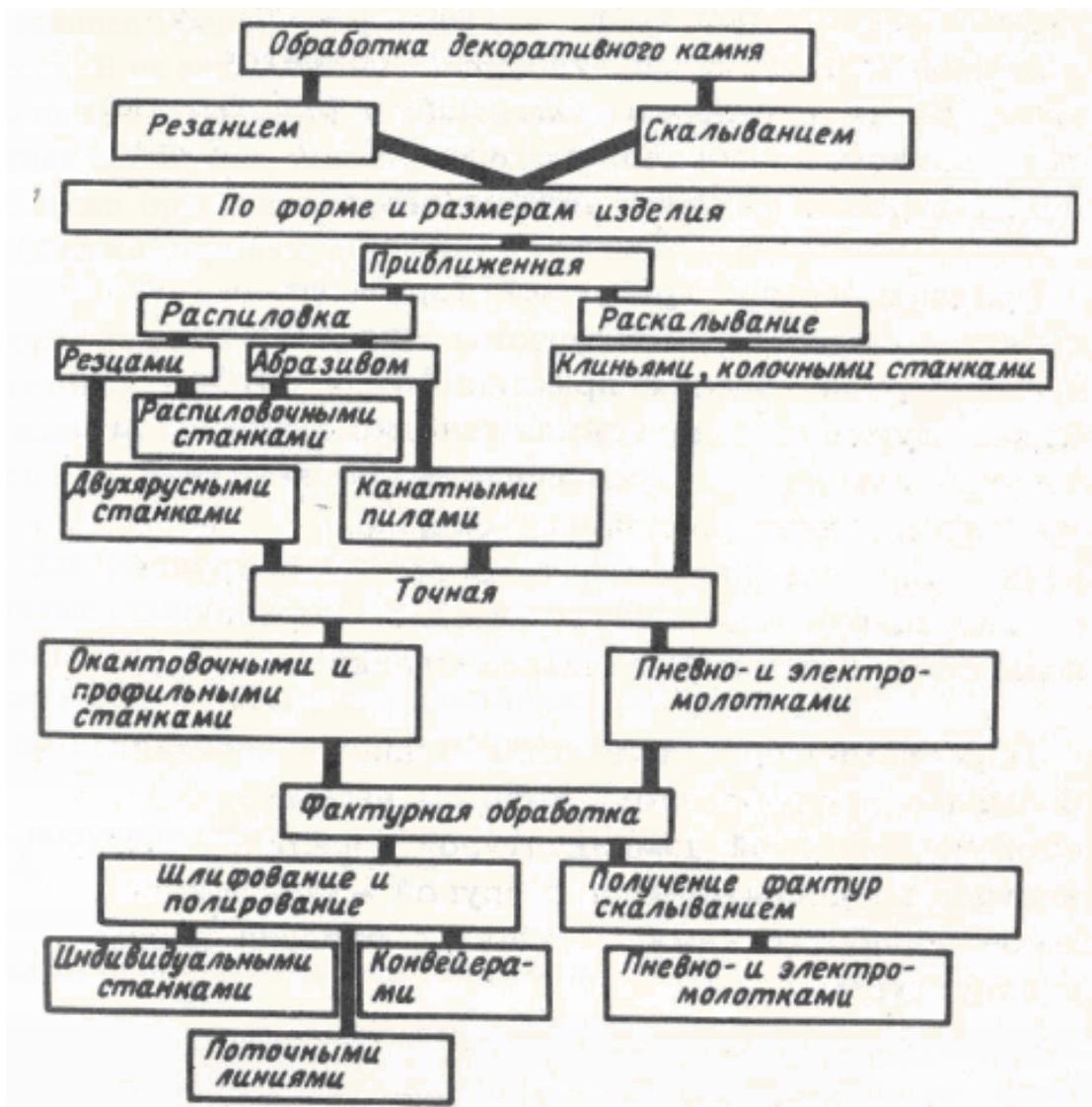


Рисунок 15.1 – Технологическая схема обработки камнеблоков

Обработка резанием – наиболее современный процесс, который позволяет получить высокую производительность, дает меньше отходов и в наибольшей степени допускает автоматизацию. В зависимости от твердости камня используют стальные и твердосплавные резцы (на мягких и средней твердости камнях) или алмазные и карборундовые инструменты (на породах средней твердости и твердых).

Обработка скалыванием – более трудоемка и сопряжена с постоянным участием в процессе оператора (рис.15.2). Поэтому эта операция не полностью механизирована и автоматизирована.

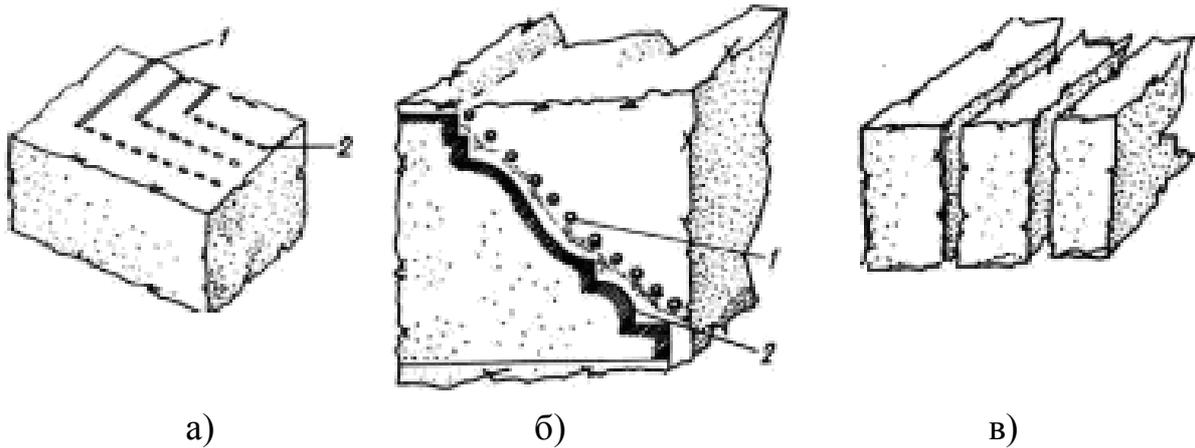


Рисунок 15.2 – Приближенная обработка камня скалыванием, изготовление: а) угловых камней; б) сложного профиля; в) бортового камня

Придание бруску приближенной формы намеченного профиля (2) осуществляют только в случае изготовления крупных карнизов сложной конфигурации. Раскалывание выполняют клиньями по предварительно ослабленной шпурами (1) плоскости раскола (рис. 15.2, б).

Придание камню требуемой формы независимо от принятого способа выполняют в две стадии:

- придание формы, грубо приближающейся к заданной;
- получение окончательной формы, соответствующей проекту.

Такое разделение позволяет резко повысить эффективность применяемого оборудования, т.к. эти отдельные стадии выполняются на различных специализированных станках (табл.15.1).

15.2 Приближенная обработки камнеблоков

Приближенная обработка блоков резанием (*распиловка*) подразумевает получение полуфабриката – плит различной толщины и размера в зависимости от назначения (наружная или внутренняя облицовка; плиты для полов, ступеней и т.д.), а также брусков, предназначенных для изготовления профильных изделий (пояски, карнизы, балясины, ступени и др.).

Таблица 15.1. Классификация станков для обработки камней

Операция 1	Тип станка 2	Конструктивные особенности 3
Обрезка плит по размеру (окантовка)	Окантовочный консольный I, с одним продольным перемещением стола	Отрезной круг расположен на станине консольного типа. Обрабатываемая деталь перемещается со столом в продольном направлении
Обрезка плит по размеру (окантовка)	Окантовочный консольный II,	Отрезной круг расположен на станине консольного типа, нос тол помимо продольного имеет и перпендикулярное к нему движение, выполняемое вручную.
Обрезка плит по размеру (окантовка)	Окантовочный консольный III,	Отрезной круг имеет возможность поворачиваться вокруг своей вертикальной оси и двигаться в направлении перпендикулярно к продольному перемещению стола (рольганга).
Обрезка плит по размеру (окантовка)	Окантовочный мостовой	Отрезной круг расположен на профильной балке, по которой может перемещаться. Балка движется по рельсам в перпендикулярном направлении.
Окантовка плит и выполнение простейшего профиля	Портальный, универсальный	Отрезной круг (обычно два) располагается на горизонтальной балке портала, по которой может перемещаться. Продольное движение совершает стол. Круг может занимать любое пространственное положение.
Изготовление плит непосредственно из блока	Специализированные станки: ортогональный Специализированные станки: ортогональный	Станок имеет систему отрезных кругов, из которых несколько располагаются вертикально и один горизонтально (отделяя отрезные плиты от блока).
Выполнение всего цикла операций по изготовлению плит	Специализированный комплект станков	Линия включает несколько станков, выполняющих самостоятельные операции: разрезку блоков на бруски, изготовление тонких плит, их последующая фактурная обработка. Специальным станком линии является многодисковый, разрезающий блок-заготовку на тонкие плиты.

Рапиловка – трудоемкая операция, вес которой составляет от 20 % и более в стоимости готовой продукции.

В ряде случаев она позволяет получать уже готовые изделия.

Оборудование, используемое для распиловки блоков на плиты и бруски (распиловочные станки) можно классифицировать:

- по виду рабочего инструмента, используемого при работе;
- направлению (горизонтальному или вертикальному) его движения;
- траектории, описываемой инструментом при резании;
- по другим частным конструктивным признакам.

15.3 Обработка блоков распиловочными станками

Станки этой группы характеризуются наличием рамы, в которой установлен комплект пильных полотен (штрипсов), натянутых вдоль длинной оси рамы с усилием 30-80 кН каждая, в зависимости от их толщины. Рамные распиловочные станки разделяются на станки с горизонтальным и вертикальным движением рамы. А по траектории – на маятниковые со сложным и прямолинейным движением рамы.

Станки с маятниковым движением пильной рамы применяют исключительно для распиловки кварцита, гранита – сиенита, габбо и других твердых пород. Породу распиливают стальными гладкими пилами, под которые непрерывно подают дозированными порциями абразив.

15.4 Обработка твердых пород камня способом термического воздействия

Термогазоструйный способ обработки твердых пород камня (преимущественно содержащих кварц) использует для разрушения камня факел раскаленных газов (температура выше 2000 °К и скорость истечения газов порядка 2500 м/с), которые, соприкасаясь с поверхностью камня, создают тепловой ударный импульс.

В процессе создания термоструйных пистолетообразных аппаратов наметилось два основных направления: использование керосино-кислородной и бензино-воздушной смесей. Керосино-кислородные термогазоинструменты имеют более высокую производительность, однако расходуют много горючего и нуждаются в кислороде, что препятствует их широкому распространению.

15.5 Обработка камня способом раскалывания

Раскалывание с помощью клиньев, известное с давних пор, перестало быть эффективным в современных условиях, когда предъявляются высокие требования не только к росту темпов производства, но также и к снижению массы облицовочных изделий. Снижение толщины изделия, получаемого раскалыванием, может быть достигнуто в случае создания предварительного напряжения в плоскости намеченного раскола. Так, например, введение дополнительных клиньев в боковые грани блока позволяет довести соотношение толщины откалываемой плиты и ее высоты до 1:6 (ранее толщина не могла быть меньше 1/3 от ее высоты). Однако, при этом на лицевой поверхности изделия остаются следы шпуров, снижающие декоративные качества изделия.

Для устранения этого недостатка используют специальные колочные станки, представляющие собой относительно простую конструкцию, имеющую два (верхний и нижний) стальных, армированных твердосплавными наконечниками ножа, приводимых в движение гидравлическими цилиндрами.

15.6 Полирование декоративного камня

Процесс полирования замыкает операцию абразивной фактурной обработки камня. В результате его проведения поверхности камня придается совершенная гладкость, обладающая свойством отражать максимум света и предельного выявления цвета и рисунка. Физическая сущность процесса полирования до последнего времени остается не совсем ясной, что объясняется исключительной сложностью изучения полированного слоя, толщина которого не превышает 110 нм. Это наиболее трудоемкая операция. Установлено, что основными факторами, влияющими на ход операции, являются качество предшествующей тонкой шлифовки (операция лощения), вид используемого полирующего материала и вид полировального круга (в случае применения полирующих порошков).

В процессе полировки для преобразования лощеной поверхности в полированную необходимо снять до 5 мкм всей поверхности обрабатываемой плиты, что выполняется с использованием полировальных порошков. В настоящее время наиболее распространены порошки окиси олова и хрома. Окись олова предпочтительнее, т.к. на светлых камнях окись хрома оставляет заметный зеленоватый оттенок. В процессе полирования различают «влажную» и «сухую» стадии. Период «сухой» полировки характеризуется преимущественной ролью химических реакций, протекающих между полировальным порошком и поверхностным слоем камня.

Для обеспечения нормального хода операции полирования необходимо подавать на обрабатываемую поверхность воду, около 10 г/мин при условии предварительной пропитки войлочного полировальника водой. Расход полировального порошка составляет около 10-20 г/м². Войлочный полировальник должен иметь объемную массу 400 кг/м³ и прочность при разрыве, равную 3,0 МПа. Войлочные круги с объемной массой свыше 400 кг/м³ быстро засаливаются в процессе работы. В практику полирования камня вошли твердые полировальники (рис. 15.3), обладающие значительными преимуществами перед обычными войлочными.

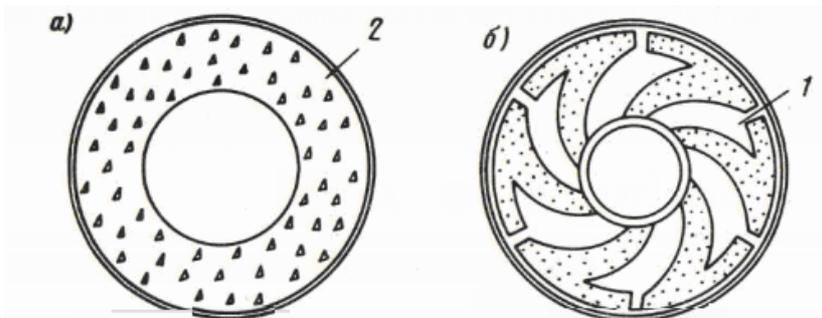


Рисунок 15.3 – Твёрдые полировальники: а) микроабразивного действия; б) химического воздействия

Они не требуют подачи полировального порошка и дают достаточно высокий глянец. Полировальники химического воздействия пригодны для карбонатных пород.

Лекция № 16

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БЛОКОВ, ДОБЫТЫХ ЗАРЯДАМИ ВВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

16.1 Методика определения фактического ущерба качеству природного камня

Методика определения фактического ущерба качеству природного камня должны быть построена таким образом, чтобы можно было разграничить повреждения по их происхождению, оценить зону нарушения, сравнить между собой разрушительное действие различных конструкций зарядов ВВ и с помощью количественных характеристик нарушений, полученных в лабораторных условиях, корректировать параметры БВР.

Действия взрыва из-за широкого спектра физико-механических свойств горных пород, разнообразия климатических, горнотехнических условий на карьерах приобретает весьма существенную неопределенность, преодолеть которую можно лишь с использованием поэлементного анализа всего технологического цикла от добычи блока до изготовления облицовочных плит.

Под *контролем качества* понимают определение физико-математических характеристик образцов по мере удаления от следа шпура на образцах.

Изменения выражаются в процентах по отношению к номинальным значениям контрольных параметров. Контрольными параметрами могут быть приняты скорость распространения ультразвуковых волн, предел прочности образцов гранита на одноосное сжатие, изгиб, растяжение, плотность, количество трещин случайной секущей, максимальная длина трещин в направлении нормальной к линии раскола блока и т.д.

При оценке степени нарушенности блоков, подвергавшихся взрывному воздействию, выполняется комплекс исследований физическими и геофизическими методами, включающими сейсмометрию, ультразвуковое прозвучивание, определение предела прочности при одноосном сжатии и морозостойкости, замер выхода плит при распиловке блоков и глубины распространения радиальных трещин, а так же фиксацию выхода блоков на горной массе.

16.2 Сейсмометрические исследования для определения зон нарушенности облицовочного камня

Сейсмометрическими исследованиями может быть определена зона нарушенности облицовочного камня от взрыва контурных зарядов. При этом экспериментально уточняется закон затухания взрывных волн и границы зоны нарушенности, на которой действующая волна из упругопластической переходит в упругую. Закон затухания взрывных волн устанавливается при инструментальной регистрации массовой скорости за фронтом волны в точках среды, равноудаленных от места взрыва.

Граница волн нарушенности фиксируется физическими методами. Для определения критической интенсивности взрывной волны используются данные сейсмометрии. Инструментальные сейсмометрические наблюдения отличаются малой трудоемкостью по сравнению с другими известными методами и дают достаточно точные результаты в динамическом и частотном диапазоне. Определив критическую интенсивность и закон затухания взрывных волн, по заданной массе заряда можно рассчитать радиус зоны нарушения или по заданному радиусу – допустимый заряд.

Контроль качества блоков, добытых зарядами ВВ различных конструкций, и продукции из них проводится методами, рекомендованными ГОСТ 9479-84. Определяются прочность образцов в сухом и насыщенном водой состоянии, потеря прочности образцов после испытания их на морозостойкость. Кроме того, проводятся измерения плотности гранитов в пришпуровой зоне методом гамма-просвечивания; петрографическими исследованиями устанавливаются распределение техногенных трещин по образцу, их плотность, радиус (зона) трещинообразования, максимальная длина трещин в направлении, нормальном к плоскости раскола.

Последовательность работы по испытанию образцов выглядит следующим образом:

- отбор проб из массива блоков, плит со следами шпуров;
- изготовление образцов; обработка поверхности образца с целью увеличения оптического контраста между трещиной и бездефектной поверхностью образца;
- петрографический анализ;
- определение плотности материала образца в пришпуровой зоне;
- проведение испытаний по ГОСТ 9479-84.

Отбор проб из массива, отбитых блоков на карьерах, или из плит на камнеобрабатывающих заводах осуществляется буроклиновым способом или алмазными фрезами. Пробы отбирались из пришпуровой зоны в виде крупных кусков камня.

Изготовление образцов осуществляется в камнерезных мастерских распиловкой проб на штупы размером 30х30х30 см, 20х20х20 см, 30х20х4 см с последующей их обработкой в зависимости от требований методик испытаний.

Качество обработки поверхности образцов при проведении количественного структурного анализа обеспечивает точность и воспроизводимость измерений. Верхняя (анализируемая) и нижняя поверхности образца должны быть плоскопараллельными, с минимальной шероховатостью. На поверхности шлифов должны быть исключены дефекты, образовавшиеся при резке, шлифовке и полировке.

Качество обработки образца к измерениям во многом зависит от правильной последовательности шлифовки его поверхностей. Последовательная шлифовка абразивными микропорошками М 14, М 10, М 5, М 3-2, М 2-1, М 2-0 и полировка позволяют снять нарушенный при изготовлении образца слой материала. При этом собственное нарушение поверхности составляет 1,5 – 5 мкм. Однако механическая обработка

поверхности образца, даже при самом тщательном соблюдении технологии шлифовки и полировки, все же не исключает нарушений структуры, а в некоторых случаях приводит к затиранию трещин. Для количественного анализа трещиноватости необходимо восстановить истинную картину следов пересечения трещин с поверхностью образца, а также создать оптический контраст, необходимый для наблюдения и подсчета трещин. При оптимальном оптическом контрасте яркость трещин максимально отличается от яркости фона. Для увеличения контрастности выбирается красковый метод, как наиболее простой в реализации и достаточный по разрушающей способности для качественной и количественной оценки трещиноватости горных пород.

Сущность метода заключается в следующем: подготовленные образцы пропитываются в красящей жидкости в течение 1-3 ч. Удаление остатков состава после пропитки с поверхности образца производится теплым 5%-ным раствором кальцинированной соды. Затем на поверхность образца ровным слоем распыляется проявляющий состав. Через 5-10 мин сушки начинают проявляться крупные трещины, а через 15-20 мин – более мелкие трещины. Таким образом, на поверхности образца вырисовывается картина распределения различных по длине и раскрытости трещин, т.е. выделяется область нарушенности образца.

16.3 Петрографический анализ образцов

Петрографический анализ образцов производится органолептическим методом с применением бинокулярной лупы с волоконным осветителем ЛБВО. Однородность освещенности поверхности образца достигается с помощью прожектора, формирующего на расстоянии 250 мм равномерноосвещенное пятно диаметром 55 мм. Бинокулярная система обеспечивает стереоскопический эффект при наблюдениях.

Определение плотности гранитов в пришпуровой зоне проводится методом просвечивания образцов узким пучком гамма-квантов.

В основе метода гамма-просвечивания лежит корреляционная зависимость между нарушенностью скальной породы и регистрируемым потоком излучения, прошедшим через нее. За измеряемую физическую величину была принята плотность горных пород.

Излучения зоны нарушенности проводится в лабораторных условиях. Пучок гамма-квантов создается посредством свинцовых коллиматоров, в которых расположены источник и детектор излучения. В качестве источника использовался изотоп селена-75 активностью $3,3 \cdot 10^{10}$ БК, обеспечивающий необходимую чувствительность к изменению плотности. Образец перемещается между коллиматорами. При этом синхронно ведется регистрация интенсивности прошедшего через образец гамма-излучения на ленту самопишущего прибора, что позволяет с высокой точностью выделить структурные неоднородности с координатной привязкой. Измерительные профили проходят параллельно плоскости откола образца по линии шпуров с шагом 5 мм и охватывали область по ширине 300 мм. Методом гамма-

просвечивания достаточно надежно можно фиксировать скопление микротрещин и определять мощность зоны трещинообразования вокруг шпуров. Так, на расстоянии 20-30 мм от образующей следа шпура плотность в образце снижается на 0,02-0,10 г/см³. Причем, как показывает сопоставление данных по плотности, полученных гамма-просвечиванием, с данными по трещиноватости, полученными петрографическим анализом, снижение плотности породы по расположению в образце соответствует скопление трещин.

Испытания образцов, установленные ГОСТом 9479-84, проводятся в специальной лаборатории. Для примера результаты испытаний гранитов Каарлахтинского месторождения представлены в табл.16.1.

Таблица 16.1. Результаты физико-механических испытаний образцов гранитов месторождений Каарлахтинское (ГОСТ 9479-84)

Способ добычи блока	Механическая прочность при сжатии, мПа		
	В сухом состоянии	В насыщенном водой состоянии	После испытаний на морозостойкость
Буроклиновый	156	153	114
	134	139	120
	159	144	160
	152	128	152
	165	154	152
Буровзрывной (заряды черного пороха)	194	176	125
	158	150	170
	174	131	140
	168	179	182
	184	163	138
Буровзрывной (заряды из двух нитей ДШ)	181	161	187
	178	158	130
	180	141	152
	140	147	128
	145	1700	141
Буровзрывной (заряд аммонита АТ-1 диаметром 15 мм)	157	139	133
	141	132	154
	177	146	160
	180	119	132
	172	128	134

Из таблицы видно, что механическая прочность образцов, добытых различными способами, имеет значительный разброс в каждой серии. Тенденции к снижению прочности образцов при добыче их взрывными способами по сравнению с клиновым не обнаружено. Все серии образцов выдерживают испытания на морозостойкость, прочность их выше допустимой ГОСТом 9479-84 – 80 мПа и соответствует средним значениям прочности

образцов, добытых клиновым способом (130- 175 мПа). Коэффициент снижения прочности при насыщении водой соответствует норме 0,8. Потеря прочности образцов значительно ниже допустимой.

В производственных условиях эффективность применяемых параметров БВР оценивают по выходу товарных блоков из общего добытого объема горной массы, а также путем подсчета выхода плит из блоков. Выход плит подсчитывают пооперационно: после разборки блока, фрезеровки, шлифовки, полировки по всему объему опытных блоков.

Для примера в табл. 16.2 представлены данные по добыче гранитных камнеблоков на карьере «Ладожский» взрыванием скважинных зарядов дымного пороха и зарядов ЗША-25. Выход блочного камня при этом в среднем повысился на 3-4 % по сравнению с отбойкой дымным порохом.

Таблица 16.2. Показатели отбойки блочного камня взрыванием скважинных зарядов дымного пороха и ЗША-25 на карьере «Ладожский»

Номер забоя	Тип ВВ	Объем отбойки, м ³	Выход блочного камня			Группа блоков				
			м ³	%		I	II	III	IV	V
				план	факт					
2	Аммонит АТ-1	1300	122,2	8-10	9,4	24,3	35,3	27,5	21,8	3,21
	Дымный порох	1400	06,3	8-10	7,6	5,8	24,8	43,1	29,8	2,9
3	Аммонит АТ-1	650	92,3	12	14,2	5,3	45,6	14,3	13,8	0,3
	Дымный порох	600	80,56	12	13,4	17,4	28,1	10,7	24,0	0,21
5	Аммонит АТ-1	1200	242,9	5	16,7	44,4	75,7	73,8	43,6	5,4
		500	174,0	15-20	34,8	1	55,5	50,6	43,4	5,8
		950	247,1	12-13	17,6	8,8-	81,2	82,2	73,7	10,0
	Дымный порох	400	51,2	12-13	12,8	-	14,7	13,0	18,9	4,6
7	Аммонит АТ-1	650	65,2	8-10	10	23,8	31,0	5,7	4,6	-
		700	62,2	8-10	8,9	6,5	33,0	18,8	5,5	0,36
		800	18,6	8-10	12,3	-	2,0	9,6	5,8	1,1
	Дымный порох	600	38,2	8-10	6,3	-	5,2	15,	14,	2,7
		1000	48,3	8-10	4,8	6,7	14,	8	5	3,1

Сопоставление результатов промышленных взрывов (табл.16.2) показывает, что применение низкобризантных ВВ в конструкциях зарядов, предусматривающих воздушный зазор между стенкой шпура (скважины) и оболочкой заряда, а также режим селективной детонации взрывчатого вещества при инициировании заряда детонирующим шпуром, расположенным коаксиально по всей его длине, повышает в зависимости от трещиноватости массива выход блочного камня с 10-17 до 17-34 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Карасев, Ю. Г.** Природный камень. Добыча блочного и стенового камня : учебное пособие / Ю. Г. Карасев, Н. Т. Бакка. – СПб.: Санкт-Петербургский горный инт-т, 1997. – 428 с.
2. **Стативко, А. А.** Добыча и обработка природного камня : учебное пособие / А. А. Стативко. — Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2015. — 181 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/66651.html> (дата обращения: 10.02.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Сейсмическая безопасность при взрывных работах [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В. К. Совмен, Б. Н. Кутузов, А. Л. Марьясов и др. - 25 Мб. - Москва: Горная книга, 2012. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. - URL: <http://ed.donntu.org/books/20/cd9721.pdf>
4. **Синьчковский, В. Н.** Технология открытых горных работ: Учебное пособие / В. Н. Синьчковский, В. Н. Вокин, Е. В. Синьчковская. Под редакцией В. Н. Синьчковского. – 2-ое изд. Перераб. и доб. – Красноярск: СФУ, 2007. – 528 с.
5. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 г. № 494 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/400142230/#friends>
6. **Тамбиев, Г. И.** Развитие производства промышленных ВВ и их применение в НПП «Интеррин» / Г. И. Тамбиев, Е. Н. Ольшанский // Взрывное дело. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу», 2007. – Вып. № 98/55. - С.192-203.
7. **Орленко, Л. П.** Физика взрыва и удара: Учебное пособие для вузов.- 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 304 с. – URL: <https://obuchalka.org/20220616144914/fizika-vzriva-i-udara-orlenko-l-p-2008.html>
8. **Белин В. А.** Технология и безопасность взрывных работ / В. А. Белин и др. – Москва : Горное дело, 2016.– 424 с.
9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" [текст]: / Утверждены приказом федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. N 505. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleid=1&documentid=384179&ysclid=ltm7vlqwvx752180179>