

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова»**

На правах рукописи



ПРОХОРОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
БЕЛОГО МРАМОРА**

Специальность

25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

доцент, кандидат технических наук

Дмитрий Викторович Доможиров

Магнитогорск, 2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1. Анализ способов добычи белого мрамора и мировой объем его потребления	10
1.2. Горно-геологические особенности месторождений мрамора высокой степени белизны	24
1.3. Современное состояние комплексного освоения месторождений и тенденции развития техники и технологии при добычи и переработке мрамора	31
1.4. Виды товарной продукции месторождений мрамора высокой степени белизны и требования предъявляемые к ним	44 50
1.5. Задачи исследований	51
Выводы по главе 1	
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МРАМОРА	52
2.1. Критерии оценки качества товарной продукции месторождений мрамора высокой степени белизны	52
2.2. Систематизация технологий добычи мрамора, обеспечивающих высокую ценность готовой продукции	67
2.3. Исследование способов увеличения суммарной стоимости продукции на месторождениях мрамора	78
2.4. Районирование месторождения белого мрамора по критерию качества товарной продукции	84 88
Выводы по главе 2	
3. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МРАМОРА	89
3.1. Обоснование безвзрывной технологии добычи мрамора в рамках одного участка недр	89
3.2. Обоснование параметров буровзрывной подготовки при добыче мрамора высокой степени белизны	99
3.3. Обоснование технологии добычи мраморных блоков и щебня на одном месторождении	106
3.4. Алгоритм выбора технологии добычи белого мрамора с максимальной прибылью	124 127
Выводы по главе 3	
	129

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МРАМОРА ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ БЕЛИЗНЫ	129
4.1. Рекомендации по повышению выхода товарной продукции в условиях Полоцкого месторождения мрамора	136
4.2. Рекомендации по комплексному освоению Еленинского месторождения белых мраморов за счет увеличения видов товарной продукции	144 145 146
Выводы по главе 4	160
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
Список литературы	
Приложение	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

На территории России добыча мрамора осуществляется с целью получения блочного камня и щебня. До 2 000 года в России доля, разрабатываемых месторождений мрамора для получения блочного камня составляла 90% при общем объеме добычи 5 млн. куб в год, а для добычи щебня до - в среднем 10% от общего объема.

С начала XXI века наблюдается тенденция перераспределения объемов товарной продукции и увеличения спроса на мраморный щебень в связи с развитием технологии производства микрокальцита, широко используемого в различных отраслях промышленности: пищевой, фармацевтической, стекольной, нефтегазовой, лакокрасочной, резинотехнической и многих других. При этом производство микрокальцита возможно только в результате переработки фракционного щебня из мрамора высокой степени белизны. Динамика роста, годового объема добычи мраморного щебня только в Уральском регионе с 2 000 по 2 021 гг. составила от 0,1 млн. м³ до 3 млн. м³.

Применение традиционных технологий добычи блочного камня влечет за собой рост общих потерь мрамора высокой степени белизны до 70%. При этом, часть отходов, в виде крошки, околы и некондиционных блоков может быть использована для получения микрокальцита. Однако относительно небольшие объемы отходов не обеспечивают возрастающий спрос на данный вид продукции. Применение традиционных высокопроизводительных технологий с подготовкой массива горных пород буровзрывным способом для добычи мраморного щебня приводит к нарушению его целостности и полной потере блочной товарной продукции. Требования к качеству товарных блоков определяется согласно ГОСТ 9479-98.

Таким образом, применяемые при разработке месторождений мрамора технологии добычи блочного камня и фракционного щебня являются взаимоисключающими и не позволяют получать рост объемов товарной продукции в пределах осваиваемого участка недр.

Одним из способов повышения полноты и комплексности освоения месторождения мрамора высокой степени белизны является применение технологий, позволяющих в пределах одного карьерного поля одновременно добывать строительный блочный камень и фракционный щебень для производства микрокальцита.

В связи с этим обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения месторождений мрамора высокой степени белизны является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы.

Разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей одновременную добычу блочного камня и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны

Идея работы. Повышение полноты и комплексности освоения запасов месторождений белого мрамора достигается за счет предварительного районирования карьерного поля на участки для применения комплекса буровзрывных работ и механизированного оборудования с взаимоувязкой параметров геотехнологии одновременной добычи высокодекоративного блочного камня и фракционного щебня при производстве микрокальцита высокой степени белизны

Задачи исследования:

- анализ современных подходов к комплексному освоению запасов месторождений белого мрамора и тенденций развития техники и технологии его добычи и переработки;
- обоснование критериев оценки качества и видов товарной продукции при комплексном освоении месторождений белого мрамора;
- обоснование технологий буровзрывной подготовки и механического рыхления массива горных пород, с учетом горно-геологических условий, месторождений белого мрамора;
- классификация технологий добычи блоков и мраморного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны на одном участке недр;

– разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей одновременную добычу блочного камня и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны;

– технико-экономическая оценка предлагаемых технологических решений.

Объект исследования: открытая геотехнология разработки месторождения белого мрамора.

Предмет исследования: параметры открытой геотехнологии, обеспечивающей комплексное освоение запасов белого мрамора с максимальным выходом готовой продукции при добыче на одном участке недр блочного камня и щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны.

Методы исследования.

Использован комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение достижений науки, техники и технологии открытых горных работ, опыта отечественных и зарубежных исследований; моделирование и проведения экспериментов в полупромышленных и промышленных условиях с использованием инструментальных замеров; обработку результатов экспериментов и промышленной апробации разработанных рекомендаций методами математической статистики; технико-экономический анализ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Повышение полноты и комплексности освоения запасов месторождений белого мрамора обеспечивается: предварительным районированием карьерного поля по коэффициенту трещиноватости массива, декоративности и степени белизны готовой продукции; созданием защитного экрана по контакту участков блочного камня и мраморного щебня; применением комплекса горного оборудования с рациональными параметрами буровзрывных работ.

2. Сохранение природной структуры массива участка для добычи блочного камня обеспечивается удалением буровзрывных работ от его границ на расстояние не менее 20 м в плане и 5 диаметров скважин в вертикальной плоскости при использовании низкобризантных взрывчатых веществ и щадящих взрывных технологий или созданием демпферной защиты шириной более 7 м и глубиной 0,3

длины скважины с применением конструкции заряда на воздушной подушке и с инертным материалом фракции 0-20 мм в донной части заряда.

3. Полнота и эффективность освоения запасов месторождения белого мрамора достигается выбором технологии их подготовки к выемке и добыче, исключающей разубоживание вредными включениями, снижением выхода фракции 0-20 мм и обеспечивается применением механического рыхления, однорядного взрывания с параметрами, установленными на основании выявленной степенной зависимости сетки скважин от диаметра и удельного расхода взрывчатого вещества.

Достоверность результатов обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных; использованием современных программных средств проведения компьютерного моделирования; апробацией результатов исследований на карьерах по добыче строительных материалов ООО «РИФ-Микромрамор»; подтверждается: сопоставимостью результатов теоретических, натурных исследований, а также полигонных испытаний и использованием апробированных методов математической статистики.

Научная новизна:

1. Классификация технологий добычи белого мрамора по типу применяемого оборудования и способам подготовки пород к выемке, использование которой позволяет в пределах одного карьерного поля определить рациональное сочетание механического и буровзрывного рыхления с учетом степени трещиноватости и требований к качеству товарной продукции, для обеспечения максимального совокупного выхода товарных блоков и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны.

2. Методика обоснования параметров открытой геотехнологии при разработке месторождений белого мрамора, включающая районирование карьерного поля на участки по степени трещиноватости, типу и сортам товарной продукции, выбор комплекса оборудования, способа создания демпфера и технологии производства буровзрывных работ, обеспечивающая полноту и комплексность освоения балансовых запасов.

3. Установлена зависимость параметров сетки скважин от их диаметра и удельного расход взрывчатого вещества для различных конструкций зарядов, представляющая собой семейство монотонно возрастающих степенных кривых, область применения которых ограничена качественными показателями товарной продукции: минимальный выход товарной фракции 0-20 мм и максимальный выход негабарита.

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования; проведении теоретического анализа и разработке направлений комплексного освоения запасов месторождений белого мрамора, обеспечивающих полноту отработки запасов; обосновании видов товарной продукции мрамора и критериев оценки его качества; разработке технологий буровзрывной подготовки и механического рыхления в контактных зонах с вредными включениями; проведении научных и опытно-промышленных экспериментов; обработке, интерпретации результатов исследований; анализе и обобщении полученных результатов; подготовке публикаций.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования состоит в том, что применение разработанных технологий добычи мраморных блоков и щебня высокой степени белизны на одном участке недр, технологических схем отработки контактных зон механическим рыхлением, конструкций вертикального и горизонтального демпфера, рациональных параметров однорядного взрывания обеспечивают повышение выхода товарной продукции и комплексное освоение запасов месторождений белого мрамора.

Научное и практическое значение работы подтверждено ее выполнением при поддержке гранта Российского научного фонда №14-37-00050.

Реализация результатов исследования:

Результаты и научно-практические рекомендации диссертации использованы в проектах разработки месторождений «Полоцкое» и «Еленинское».

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: международной научно - технической конференции X и XI международной

научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2019, 2021 гг.); «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования», Магнитогорск: МГТУ, 2020; международной конференции «Добыча, обработка и применение природного камня», 2016 и 2018г.

Публикации Основные положения диссертации опубликованы в 14 научных работах, из них: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 3 – в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 7 – в прочих изданиях.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 160 страницах машинописного текста, содержит 60 рис., 32 табл., библиографический список из 130 наименований и 1 приложение.

Работа выполнена в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова на кафедре «Разработка месторождений полезных ископаемых». Исследования, представленные в диссертации, выполнялись в рамках госбюджетных и хоздоговорных НИР.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ способов добычи белого мрамора и мировой объем его потребления

В культуре практически всех развитых древних цивилизаций использовался камень для выражения самых высоких философских, этико-эстетических и религиозных категорий. Даже самые ранние изделия Каменного Века фактом своего существования свидетельствуют о врожденном чувстве прекрасного и постоянной эвристической работе мысли древних людей. Совершенствование техники обработки и возрастающая эстетика каменных предметов быта в сочетании с природной красотой поделочного и декоративного камня указывают на мощное творческое начало наших далеких предков [7]. Так ещё до нашей эры человечество познало природу и красоту белого мрамора.

Мрамор с древне-греческого *μάρμαρος* — означает «белый или блестящий камень».

В древности, люди изначально использовали мрамор как строительный камень, но впоследствии обратили внимание на то, что он легко поддаётся обработке. Таким образом, мрамор стали широко использовать в архитектуре при строительстве зданий и сооружений, а также во внутренней и наружной отделке.

Так, особую красоту мрамора человечество открыло при изготовлении скульптур, которые сохранились и до наших времен (рисунок 1.1-1.3).



Рисунок 1.1 - Скульптура Мария Барберини Дульоли, Джулиано Финелли
итальянский скульптор эпохи барокко, 1626-го года, Лувр



Рисунок 1.2 - Скульптура Антонио Коррадини. «Целомудрие», 1752-го года, Капелла Сан-Северо Неаполь Италия



Рисунок 1.3 - Скульптура Уголино и его сыновья, Жан-Батист Карпо, 1857-1860 гг.

Мрамор, известняк и доломит являются белым камнем и участвуют в возникновении и развитии русского зодчества. Сооружения Владимиро-Суздальской, Московской и Киевской Руси являются гордостью архитектуры России. Именно благодаря мрамору, Москва получила имя «белокаменная» [47, 122].

На рисунке 1.4 показаны постройки церкви Покрова на Нерли, с которых и началась история горного дела добычи белого мраморного камня.



Рисунок 1.4 – Владимирская область, церковь Покрова на Нерли.

Одним из главных строительных материалов, отличающихся от сооружений Киевской Руси, были блоки белого мрамора. Так, основные блоки белого мрамора, применяемые при строительстве объектов зодчества в период XII - начала XIII веков, имели размеры примерно $0,3\text{м} \times 0,4\text{м} \times 0,5\text{м}$ и $0,6\text{м} \times 0,5\text{м} \times 0,4\text{м}$. Стены обычно укладывались в два ряда, а промежутки между ними заполнялись отходами блочного камня с заливкой раствором извести.

Мрамор являлся отличным резным материалом [22]. Ярким примером является Георгиевский собор во Владимирской области в г. Юрьев Польский (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Георгиевский собор во Владимирской области в г. Юрьев-Польский

Древнейшим зданием из белого мраморного камня, расположенного в Кремле, является Грановитая палата, которая была построена в 1487-1491 гг. [115].

Московские зодчие в конце XIX - начале XX вв. при строительстве особняков применяли также белый и серый мрамор, ярким примером чего является бывший особняк С. Морозова, построенный в 1895–1899 гг. (рисунок 1.6).

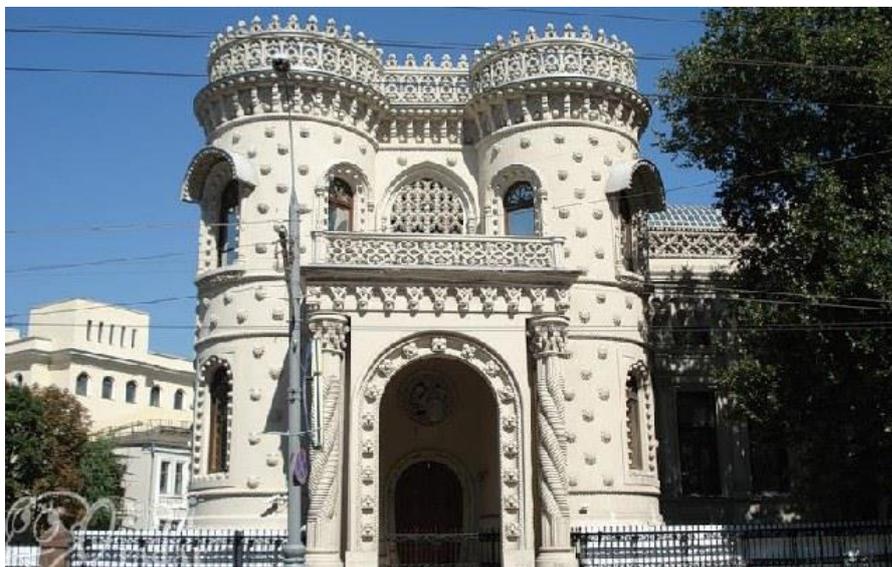


Рисунок 1.6 – г. Москва, ул. Воздвиженка, Особняк Морозова

Временной фактор играл важную роль при создании скульптуры из мрамора. Добытый в весенний период мраморный блок, насыщенный влагой легче поддавался обработке. Далее мрамор высушивался и только после этого монтировался как скульптура.

В трудах А. Н. Сперанского «Разработки в 17 веке в Ковровском уезде Владимирской области» [111] впервые описывается технология добычи белого камня открытым способом на карьерах.

Начиная с половины 18 века белый мраморный камень, добывался подземным способом в Подмосковье (с. Мячкова) и благодаря высокому качеству, транспортировался на большие расстояния во Владимиро-Суздальский край, в Нижний Новгород и даже в Астрахань [48].

Следует отметить, что спрос на белый мрамор, в виде блоков и облицовочных плит актуален до сих пор. В последние годы выросла потребность в белом мраморном камне и для строительства новых уникальных сооружений. Примером являются отделочные и облицовочные работы при постройке новых веток метрополитена в Москве с помощью белого мрамора (рисунок 1.7 и 1.8).

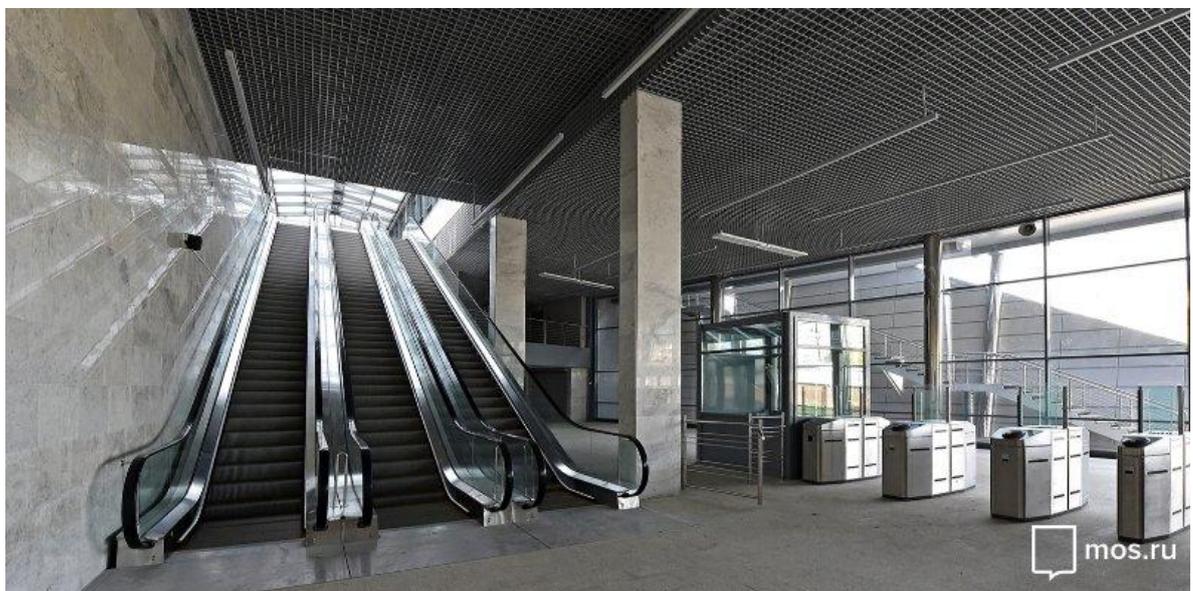


Рисунок 1.7 – Проект первого участка большого кольца (станции — от «Делового центра» до «Петровского парка»)



Рисунок 1.8 – Проект 3-х станций метро в московском районе Хорошево-Мневники (станции - «Терехово», «Нижние Мневники» и «Улица Народного Ополчения»)

В крупных городах России за последние годы сформировалась тенденция к проектированию индивидуальных малоэтажных загородных дачных поселков в стиле «Русская усадьба» с использованием в качестве облицовочного материала белого мрамора.

Таким образом, исторически мрамор добывался как блочный и облицовочный камень. За последние 10-летие наметилась тенденция к снижению добычи блоков за счет замещения их искусственным камнем (рисунок 1.9), так как данный вид продукции дешевле и практичнее [16, 45, 82]. Основным искусственным материалом является гипс со специальными модифицированными добавками, содержащие красители.

Начиная с XX века и по настоящее время человечество расширило сферу применения белого мрамора не только в архитектуре и в облицовочных работах, но и в других областях народного хозяйства - в виде микрокальцита.

Микрокальцит - карбонат кальция кристаллический - природный неорганический наполнитель получаемый измельчением природного мрамора.



Рисунок 1.9 – Отделка фасада дома искусственным камнем (гипсовая плитка)

Микрокальцит предназначен для производства:

- пластмасс;
- линолеума;
- бумаги и картона;
- лакокрасочных материалов;
- сухих строительных смесей;
- буровых растворов для нефте – газодобычи;
- резинотехнических изделий;
- строительной керамики и фарфора;
- фанеры;
- радиодеталей;
- абразивных инструментов;
- стекла;
- чистящих средств;
- герметиков;
- зубной пасты;
- косметических кремов.

Микрокальцит входит в достаточно обширную группу карбонатных наполнителей, включающую в себя природный и химически осажденный мел, карбонат кальция из известняков и некоторые виды минеральных наполнителей, получаемых из доломитового сырья. В настоящее время применение в качестве наполнителей помимо карбонатных находят и другие виды наполнителей, получаемых из следующего минерального сырья: сульфат бария (микробарит, бланфикс), слюда (вермикулит, мусковит, флогопит), тальк (микротальк, талько-магнезит), каолинит, волластонит, асбест (хризолит-асбест, амфибол-асбест), гипс, кварц (микрокварц, кремнегель, кизельгург, перлит), полевой шпат (ортоклаз, микроклин, плагиоклаз), пегматит (кварц-полевошпатовый) и нефелиновый сиенит.

Микрокальцит может рассматриваться в качестве альтернативного материала вышеперечисленным наполнителям. При этом микрокальцит будет обеспечивать продукции новые свойства и более высокие характеристики, такие как прочность и белизна.

Мировая география месторождений белого мрамора представлена на рисунке 1.10. Виды товарной продукции из белого мрамора представлены в таблице 1.1.

Анализ объемов добычи и потребления мрамора свидетельствует о росте его потребления, в первую очередь за счет развития технологий (рисунок 1.11), увеличивающих сферу его применения, а именно добыча щебня, как сырья для производства микрокальцита. В настоящее время до 50 % мрамора всего мира используется для производства микрокальцита (таблица 1.1). Мировой объем потребления белого мрамора имеет устойчивую тенденцию роста, что объясняется его использованием в качестве микрокальцита при создании искусственных материалов в различных отраслях промышленности.



Рисунок 1.10 - Мировая география месторождений мрамора

Таблица 1.1 – Месторождения по добыче белого мрамора и виды товарной продукции из него

Страна	Название месторождение	Продукция
Россия	Еленинское	Мраморный щебень
	Полоцкое	Блоки, мраморный щебень
	Коелгинское	Блоки, мраморный щебень
Италия	Каррара	Блоки
	Калакатта	Блоки
Испания	Пиносо (Аликанте)	Блоки
Индия	Раджастан	Блоки
	Калод	Мраморный щебень
Украина	Трибушаны	Блоки, мраморный щебень
Китай	Гуанси	Блоки
Греция	Тасос	Блоки
	Паросский	Блоки
	Патима	Мраморный щебень
США	Вермонт	Блоки, Мраморный щебень
Куба	Хувентуд	Блоки
Узбекистан	Газганское	Блоки
Австрия	Кляйнзёльское	Блоки
	Gumern	Мраморный щебень
Армения	Идживанское	Блоки
	Агверанское	Блоки
	Хорвирабское	Блоки
Грузия	Лотопское	Блоки
	Молитское	Блоки
	Салиетское	Блоки
Чехия	Vintirov	Мраморный щебень
	Djzicanu	Мраморный щебень
Хорватия	Klana	Мраморный щебень
Сербия	Кривель	Мраморный щебень
Румыния	Чернево	Мраморный щебень
Болгария	Черни-Врых	Мраморный щебень
Турция	Kafaca	Мраморный щебень
	Yesilbagcilar	Мраморный щебень
	Yatagan	Мраморный щебень
	Mugla	Мраморный щебень
	Aidin	Мраморный щебень
	Ovapinarr	Мраморный щебень
	Ikizrov	Мраморный щебень
	Pinarkov	Мраморный щебень
Финляндия	Kourulanmaki	Мраморный щебень
	Oikarainen	Мраморный щебень
	Heikkilanranta	Мраморный щебень
Франция	Le bas fonze	Мраморный щебень

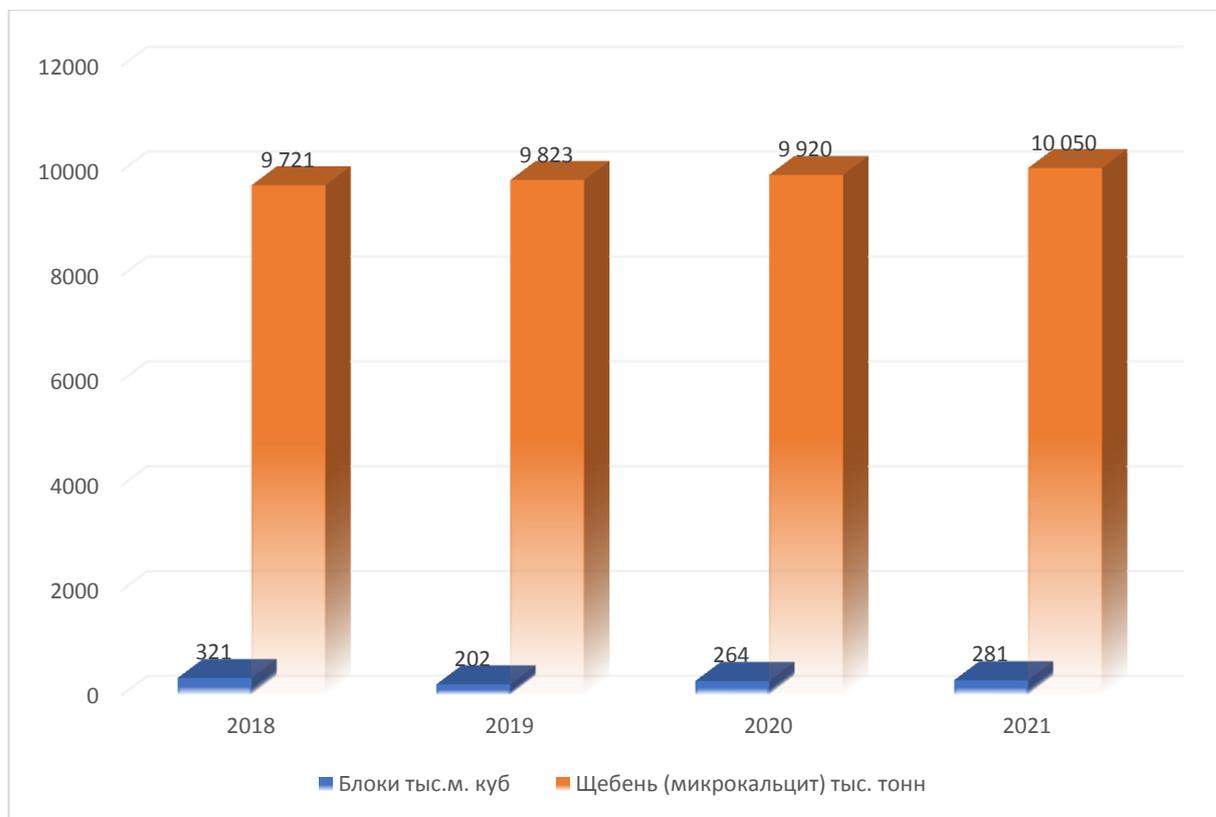


Рисунок 1.11 Мирровой рынок спроса белого мрамора

Добычу мраморных блоков открытым способом осуществляют по трем стадийным схемам. Выбор схемы зависит от размера блочного камня, содержащегося в массиве и трещиноватости. В практике открытой геотехнологии количество стадий обычно равно двум.

Одностадийная схема добычи - это отделение блока объемом 5-8 м³ от массива, т.е. выемка близких к стандартной форме и размерам мраморных блоков. В одностадийной схеме добычи расстояние между трещинами, не должно превышать 2 м (рисунок 1.12). Такая схема используется при добыче мраморных блоков при помощи баровых камнерезных машин.

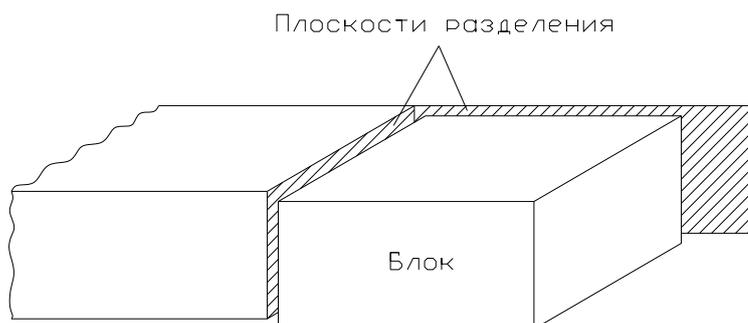


Рисунок 1.12 – Одностадийная технологическая схема добычи мраморных блоков

Двухстадийная технологическая схема добычи мраморных блоков применяется при разработке больших монолитных блоков объемом от 30 до 50 м³ с расстоянием между трещинами 2-6 м. Добытый монолит подвергается пиленнию на требуемые по форме и размерам блоки.

Довольно часто встречаются месторождения камня с наклонной слоистостью (рисунок 1.13).

Такая схема применяется при добыче мраморных блоков с помощью алмазно-канатных камнерезных машин или и с использованием комбинированной системой отделения монолита (с применением алмазно-канатной и баровой камнерезных машин).

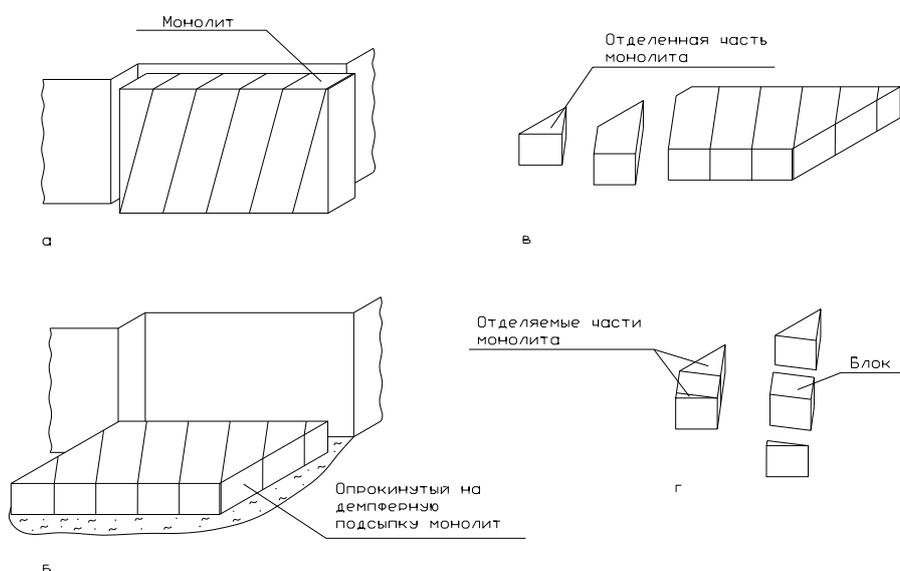


Рисунок 1.3 - Двухстадийная схема добычи мраморных блоков:

а, б – отделение монолита и его завалка,
в, г – разделение заваленного монолита на блоки.

Двухстадийная технологическая схема в мировой практике добычи мраморных блоков доказала свое преимущество, за счет использования естественной трещиноватости. При этом выход блоков из массива возрастает до 60-70% по сравнению с одностадийной технологической схемой добычи, для которой он не превышает 25-35%.

Применение двухстадийной схемы добычи приводит к увеличению высоты уступа до 5-15 м, а монолитного блока до объема 100 м³.

Выбор процесса подготовки объемов камня к выемке по одно- либо двухстадийной схеме осуществляется в зависимости от параметров рабочей площадки, высоты уступа и количества слагающих слоев.

Трехстадийная схема добычи мраморных блоков включает следующие стадии:

1 стадия – отделение от уступа крупных монолитных блоков, длиной до несколько десятков метров, кратной расстоянию между поперечными трещинами и шириной, кратной величине длины или ширины товарного блока;

2 стадия – разделение монолита на более мелкие монолиты, кратные основным размерам товарного блока.

3 стадия – получение товарных блоков, путем разделения вторичных монолитов с учетом горизонтальных слоев.

Открытая геотехнология добычи микрокальцита предъявляет к месторождению природного камня меньшие требования, чем при добыче блочного камня: на качество полезного ископаемого не оказывает влияние трещиноватость массива горных пород. Также малое влияние на качество готовой продукции имеет цветность (декоративность) камня, так как сырье для производства микрокальцита в производственном процессе подвергается перемешиванию и усреднению по требуемым свойствам. Микрокальцит может производиться как из отходов производства блоков мрамора путем дополнительного дробления и измельчения мраморного окола, так и из недр - целенаправленно добываемого сырья. На данный момент имеется тенденция перекалфикации карьеров по добыче мрамора с низким коэффициентом выхода товарных блоков на предприятия по добыче микрокальцита с целью увеличения экономической эффективности. Сырье на микрокальцит возможно добывать как традиционным для карьеров природного камня оборудованием (баровыми и алмазно-канатными камнерезными машинами), так и с применением технологий, позволяющих обеспечить массовое извлечение мрамора с попутным дроблением (буровзрывной способ отбойки породы, разработка месторождения с применением карьерного комбайна). Дальнейшее дробление и измельчение производится с применением дробилок.

Выходная фракция зависит от требований производителя.

Таким образом, объем потребления мрамора определяется видом товарной продукции и способом добычи. Так блочный камень добывается алмазно-канатными и баровыми машинами, а щебень на микрокальцит буровзрывным способом, фрезерными комбайнами и бутобоями (рисунок 1.14).

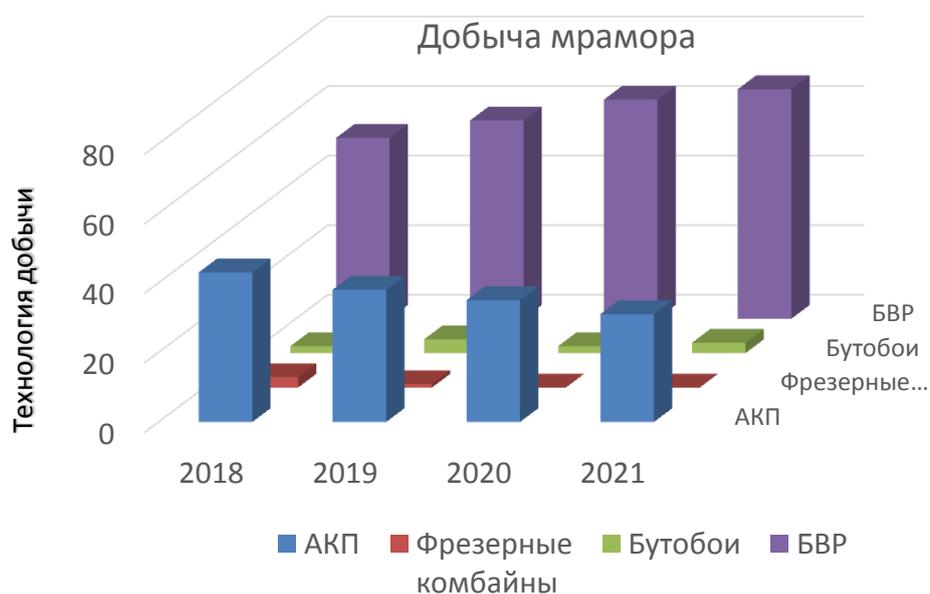


Рисунок 1.14 - Распределение добычи мрамора по виду товарной продукции и способу отработки месторождения

В мировом масштабе уникальной сырьевой базой России является Еленинская группа месторождений белого мрамора. При этом горно-геологические особенности накладывают ограничения на эффективную добычу. Таким образом, необходимы дополнительные исследования с целью обеспечения комплексного освоения месторождений.

1.2. Горно-геологические особенности месторождений мрамора высокой степени белизны

По разнообразию и объемам добычи природного и облицовочного камня Россия занимает ведущую роль. Балансовые запасы по категориям А, В и С₁ на настоящий момент составляют около 5 млрд. м³. Данная сырьевая база представлена более 500 разведанными месторождениями, слагающие типы полезного ископаемого, отличающиеся по происхождению и прочностным характеристикам.

На долю Урала приходится 30% от общего объема добычи блоков высокопрочного камня в стране. Наиболее известные месторождения высокопрочного камня на Урале представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Наиболее известные месторождения высокопрочного камня на Урале

Полезное ископаемое	Месторождение
Мрамор	Еленинское, Полоцкое
Долерит и габбро	Восточно-Бускунское
Гранит	Восточно-Варламосвкое
Гранит	Исетское
Серый гранит	Лисья горка
Гранит	Мансуровское
Долерит и габбро	Северо-Бускунское
Гранит	Цветок Урала
Гранит	Суховязское

На Урале находятся самые уникальные месторождения мрамора с высокой степенью белизны, это месторождения Еленинской группы, которые используются в том числе и для производства микрокальцита [38, 119].

Еленинское месторождение белых мраморов расположено в Челябинской области, в Карталинском районе в 3,5 км юго-западнее п. Еленинка. Еленинское месторождение представляет собой падение слоев под углом 50-65⁰ в виде складок, сложенных послойно: белые, светло-серые, серые, темно-серые (доломитизированные) (рисунок 1.15) и жёлтые (ожелезненные) мраморы (рисунок 1.6).



Рисунок 1.15 - Борт карьера с выходом темно-серых (черных) мраморов



Рисунок 1.16 - Уступ карьера с выходом доломитизированного мрамора жёлтого цвета

Мрамор Еленинского месторождения характеризуется высокими показателями белизны (R_x и R_y), низким показателем желтизны и очень низким содержанием Fe_2O_3 .

Готовой продукцией карьера «Еленинский» является щебень, различной фракции:

- щебень фракции 20-40 мм;
- щебень фракции 40-200 мм;

Щебень для производства микрокальцита из карьера транспортируется на дробильно-сортировочную установку. Первичный отсев - это разубоживание фракций крупностью 0-20 мм, потеря которой составляет 18%.

После первичного отсева 100% перерабатываемого мрамора разделяется по фракциям со средним долевым содержанием по месторождению:

- 40-200 мм – 52%;

- 20-40 мм – 28%;
- 5-20 мм – 6%.
- вторичный отсев (0-5 мм) – 14%.

Однако горно-геологическая особенность месторождений Еленинской группы состоит в том, что массив не монолитен, а перебит включениями (рисунок 1.15 и 1.16), которые снижают ценность товарной продукции (рисунок 1.7).

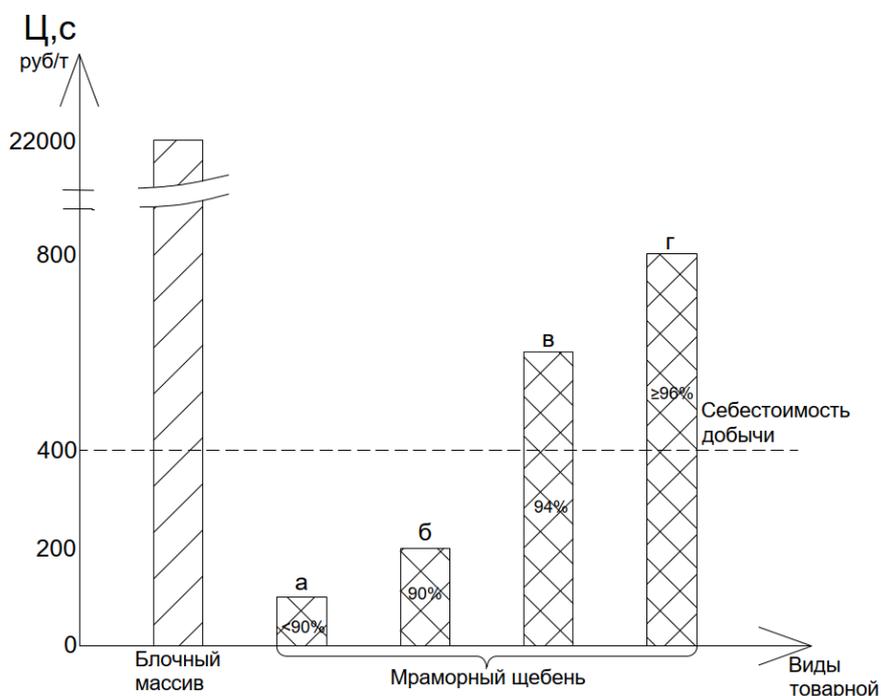


Рисунок 1.17 - Стоимость готовой продукции месторождений мрамора
 а - фракционный щебень с показателем белизны менее 90%;
 б - фракционный щебень с показателем белизны равным 90%;
 в - фракционный щебень с показателем белизны равным 94%;
 г - фракционный щебень с показателем белизны $\geq 96\%$.

Следует констатировать, что традиционная технология добычи мрамора не позволяет управлять качеством отделяемого полезного ископаемого, что, зачастую, приводит к существенному его снижению. Так, существующая схема подготовки пород к выемке при многорядном короткозамедленном взрывании (КЗВ) приводит к потерям 18% мрамора по причине его переизмельчения. Обеспечение годового объема переработки обеспечивается увеличением производственной мощности карьера на эквивалентную величину.

Следует отметить, что фракция 20-200 мм является исходным сырьем для дробления и измельчения ДСУ, где 28% - готовый продукт (фракция 20-40 мм), 52% - сырье для получения ликвидной товарной продукции (фракция 40-200 мм), 20% - переизмельченный продукт (вторичный отсев и фракция 5-20 мм). На рисунках 1.18-1.20 представлены схемы переработки мраморного щебня для получения микрокальцита высокой степени белизны.

На Еленинском месторождении имеются участки для добычи блочного камня и щебня (микрокальцит). Кроме того, первая лицензия, выданная на право пользования недрами предусматривала добычу блочного камня. Однако в силу высокой трещиноватости, отдельных участков и низкого спроса на готовую продукцию, была осуществлена замена блочного камня на добычу строительного щебня. При этом, анализируя применяемые технологии для освоения запасов месторождений мрамора, следует констатировать, что вся существующая научно-методическая база разработана на получение только одного вида продукции непосредственно из забоя в пределах осваиваемого участка недр. Фактически осуществляется выбор взаимоисключающего способа подготовки и добычи мрамора: в первом случае, блока – механического отделения при локальном воздействии (АКС, БМ, клинья); во втором случае, щебня – химическая энергия ВВ на весь объем подготавливаемого массива, что не обеспечивает комплексного освоения добычи и переработки мрамора. Поскольку при добыче только блоков, возможность производства микрокальцита ограничивается объемом добычи самих блоков, и как следствие объемом некондиционных кусков, являющихся сырьем для производства микрокальцита. Добыча же мрамора как строительного щебня, в рамках существующих технологий подготовки пород к выемке, практически после первого взрыва исключает возможность добычи блоков на данном месторождении. В связи с этим, необходимы исследования в области техники и технологий добычи полезных ископаемых, позволяющих реализовать концепцию комплексного освоения уникальных месторождений мрамора при обеспечении выхода максимального ассортимента готовой продукции.

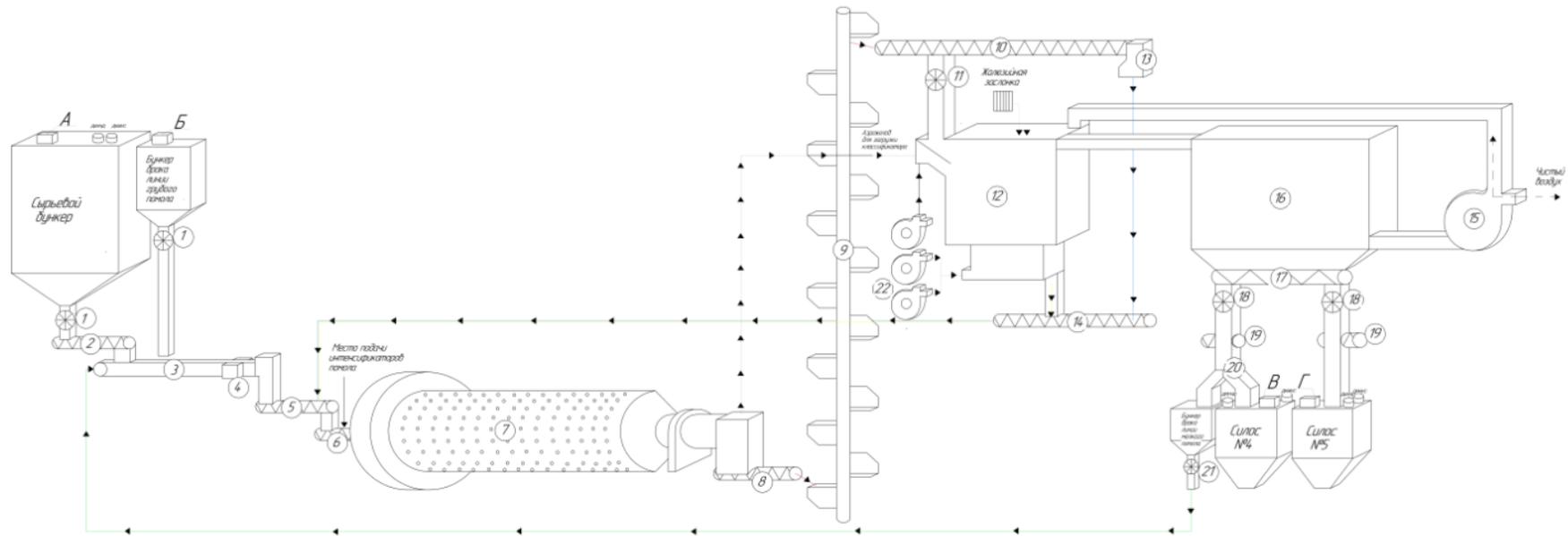


Рисунок 1.19 - Технологическая линия переработки (линия мелкого помола)

Условные обозначения:

1-Шлюзовой питатель
2-Винтовой конвейер
3-Ленточный конвейер
4-Конвейерные весы
5-Винтовой конвейер
6-Винтовой конвейер
7-Шаровая мельница
8-Винтовой конвейер
9-Элеватор ковшовый
10-Винтовой конвейер
11-Шлюзовой питатель

12-Сепаратор
13-Весы
14-Винтовой конвейер
15-Транспортный вентилятор
16-Рукавный фильтр
17-Винтовой конвейер
18-Шлюзовой питатель
19-Продоотборник
20-Поворотная заслонка
21-Шлюзовой питатель
22-Центробежный вентилятор

А, Б, В, Г-Системы вентилирования

— Крупка
— Некондиционная продукция
— Воздух с содержанием продукта
- - - Очищенный воздух
— Приточный воздух
— Сырье
— Материал оставшийся в винтовом конвейере для загрузки классификатора

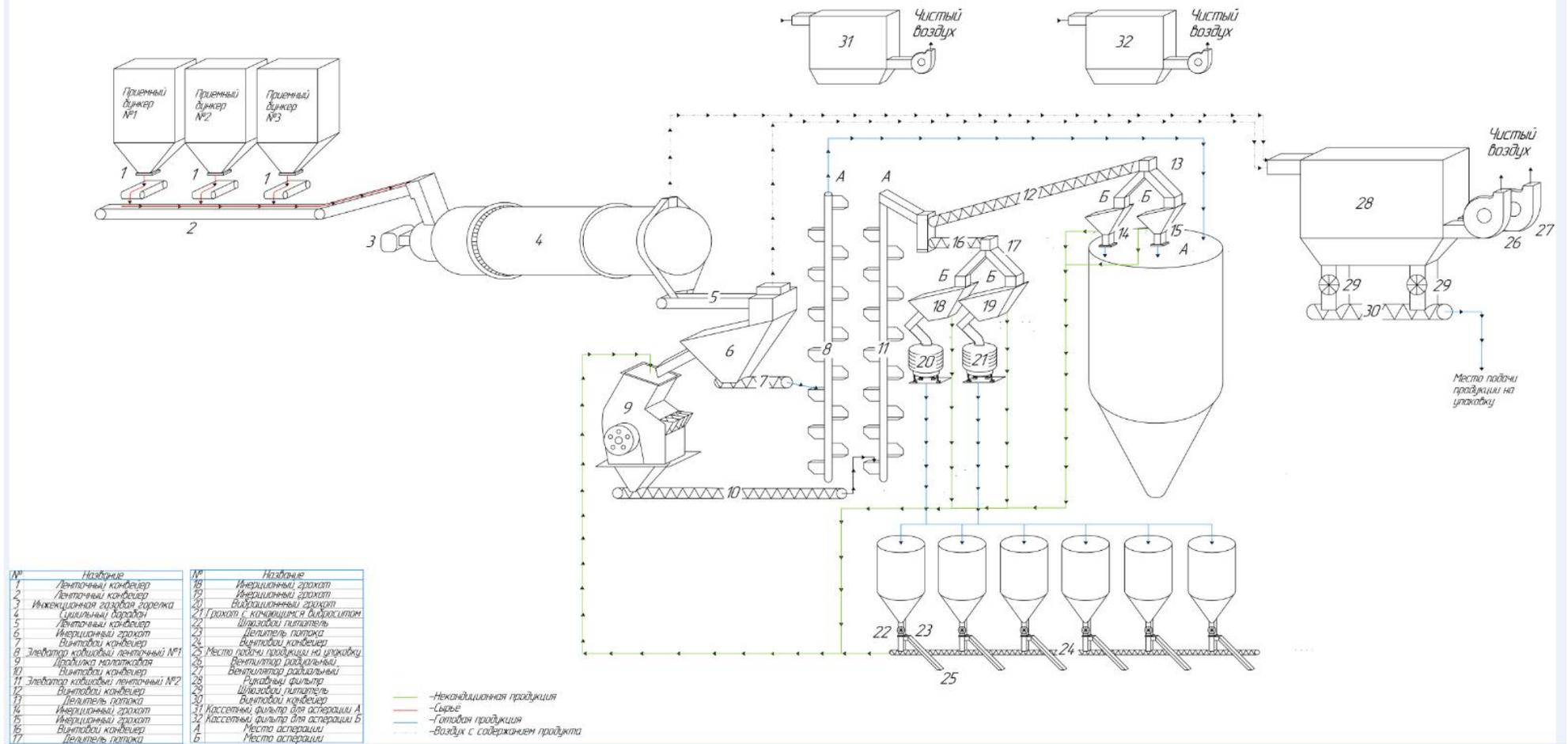


Рисунок 1.20 - Технологическая линия переработки (линия рассева песков)

1.3. Современное состояние комплексного освоения месторождений и тенденции развития техники и технологии при добычи и переработке мрамора

Комплексное и рациональное использование недр - это важнейшая задача и условие развития горнодобывающей отрасли страны. Остро проблема комплексного использования добываемого полезного ископаемого и переработки некондиционного сырья стоит в подотраслях этой промышленности, а именно в области добычи и обработки мраморного камня. Потери мраморного сырья в промышленности облицовочных материалов составляют - более 70% добытой горной массы, особенно большие потери происходят при добыче мраморных блоков.

Так, растет минерально-сырьевой резерв для производства различного рода материалов и изделий для других отраслей народного хозяйства страны. Свести к минимуму потери возможно обеспечив более высокий выход мраморных блоков и переработки некондиционного сырья, т.е. создав комплексный подход к технологии добычи мраморного камня.

Таким образом, в единичных случаях имеется практический опыт вовлечения в переработку некондиционных блоков для получения декоративного щебня, но отсутствие спроса на вторичную продукцию не позволяет обеспечить высокую степень комплексности минерального сырья, поскольку процент использования побочного сырья не превышает 5-10% при общем объеме некондиционного сырья достигающего 80%.

На месторождениях белого мрамора с высокой степенью белизны вопрос комплексности решается намного проще за счет вовлечения в переработку некондиционного сырья для производства различных наполнителей.

Выход товарных блоков в настоящее время на Уральских мраморных карьерах Коелгинское, Полоцкое, Редутовское находится на уровне 20-40%. Остальная горная масса в незначительной части используется при переработке для получения мраморной крошки, а чаще всего складывается на отвалах. К настоящему времени площадь оснований этих отвалов достигает более 4 тыс. га.

Получаем, что при добыче белого мрамора в условиях российского и мирового рынка необходимо ставить акцент на увеличение выхода товарных блоков и на комплексное использование добываемого мраморного сырья. Такой подход обеспечит комплексность и эффективность отрабатываемых месторождений белого мрамора путем использования сырьевого ресурса, высокотехнологичного оборудования и адаптированных технологических схем добычи и переработки.

Эффективность использования сырьевых ресурсов определяется выходом готовой продукции и суммарным объемом потерь камня, образующихся в ходе его обработки. Эффективность использования сырья может быть повышена за счет сокращения нерациональных потерь (учет трещиноватости и анизотропии массива), а также за счет рационального направления отбойки блоков облицовочного камня (развитие фронта горных работ). Так для установления рационального направления отбойки блоков облицовочного и стенового камня необходимо разрабатывать инженерные модели трещиноватых массивов, что учитывает анизотропию месторождения.

Следует отметить отечественный опыт повышения эффективности использования сырьевых ресурсов за счет внедрения технологий безотходного производства. ЗАО «Коелгамрамор» акцент ставят на производстве мраморной крошки из отходов, но наибольшую стоимость отходы получают при производстве готовой продукции из мраморной крошки (мозаичных плит, брусчатки, бордюров, плитки тротуарной, ступеней, фасадных панелей и т.д.).

Для определения эффективности применения техники и технологии на открытых горных работах были проанализированы фундаментальные труды академиков Н.В. Мельникова [73], В.В. Ржевского [101], К.Н. Трубецкого [112].

Впервые краткое описание технологии добычи блоков выполнено А.П. Зотовым [50]. В исследованиях А.П. Зотова при выборе направления фронта работ учитывается ориентация основных систем трещин и «кливажа».

Систематическое изложение вопроса технологии открытой добычи месторождений блочного камня впервые дано в учебнике по технологии открытых

горных работ [101]. Сведения о технологических процессах добычи блоков приведены в учебном пособии Н.А. Малышевой и В.Н. Сиренко [69].

Учет трещиноватости при выборе направления фронта работ был предложен Б. Орынбаевым [83], где он представил математическую модель трещиноватости - совокупность плоскостей, параметры которых соответствуют системам трещин. Данные методы моделирования были использованы в работе Н.Г. Караулова [59] для оптимизации направления развития фронта работ при комбинированной технологии добычи мрамора с использованием канатно-алмазных пил и баровых машин.

В работе А.Е. Михайлова [75] выполнена оценка трещиноватости и определена норма замеров трещин для достоверной информации.

В работе К.Д. Давтяна [36] рассмотрен вопрос создания и области применения канатной пилы с алмазным режущим органом.

В работах [93, 124] даны результаты экспериментальных исследований производительности от прочности мрамора при отделении блоков от массива ударно-врубовым и гидроклиновым способами.

Технологические процессы разработки месторождений блочного камня, принципы формирования технологических комплексов оборудования рассмотрены в учебном пособии [53].

В работе Ф. Бредли (F. Bradley) [17] рассмотрены вопросы технологии добычи полезного ископаемого в качестве облицовочного камня, рассмотрено оборудование, применяемое на месторождениях метаморфических и осадочных пород и дана технико-экономическая оценка деятельности камнедобывающих предприятий

В работе А.С. Чиркова [125] отражены основные положения технологии комплексной механизации производственных процессов при добыче блочного камня.

В результате промышленных исследований, выполненных В.А. Баграмяном [6] на месторождении Кибик-Кордонское, получены эмпирические зависимости основных технико-экономических показателей канатного пиления и параметров режима распиловки.

В работах [10, 26, 34,74] проведены исследования параметров буровзрывных работ, обеспечивающих монолитность отбиваемого камня на месторождениях окварцованного мрамора и даны рекомендации по определению массы заряда, расстоянию между шпурами и степени нарушенности в зависимости от прочности мрамора.

Особенности применения механического способа подготовки камня отражено в работах Ю.В. Александрова [2] и В.С. Бобовича [15]. Совершенствование способов отделения блоков камня от массива отражено в трудах [29, 44, 52].

М.Б. Григоровичем [33] представлена методика оценки месторождений блочного камня в период поиска и разведки, где рекомендовано устанавливать выход товарных блоков по результатам опытной добычи.

В работах Р.В. Акопяном и М.С. Григорьяном [1] разработан аналитический метод определения выхода блоков, включающий определение объема неправильных фигур (потерь), образуемых при пересечении плоскостей отделяемого монолита плоскостями трещин.

Т. Баккой [9] разработал метод расчета выхода блоков из массива с учетом 3-х систем трещин, оценивающий на основе эмпирических коэффициентов влияние каждой системы трещин. Также, определению величины выхода блоков из трещиноватого массива пород посвящены работы Б.П. Беликова [13].

В работе С.И. Подойникова [94] дано дальнейшее развитие метода Б.П. Беликова. где выхода блоков имеет вероятностный характер распределения параметров трещин.

Вопросы определения выхода блоков на месторождениях мрамора отражены в работах профессора А.И. Косолапова [63, 64], где учтены особенности наличия систем трещин мраморного массива, влияющих на технологии добычи.

В работах О.П. Якобашвили, Е.В. Киселевского Н.Т. Бакки [8], Н.Н. Анощенко [3], Н.И. Моторного [76], А.А Машанова [72] отражены вопросы районирования, картирования, моделирования и геометризации различных показателей массива блочного камня.

Область применения и основные преимущества подземного и открытого способа разработки месторождений мрамора, а также место заложения схемы

вскрытия отражены в трудах Е.В. Безверхой [11].

А.Ю. Невежин [79] выполнил исследование в области развития комбинированной геотехнологии и разработал методику определения границ открытых и подземных горных работ, а также обосновал метод расчета производственной мощности при их комбинации с учетом изменчивости пространственного строения его массива.

В работе Кадрова М.Ю. [51] рассмотрены технологические решения для суровых климатических условий, обеспечивающие эффективность при комбинированной разработке месторождений мрамора.

В работах [5, 49, 59] авторами рассмотрены вопросы проектирования карьеров облицовочного камня, в том числе выбор ориентации фронта работ, разработка типовых схем, а также определение конечной глубины карьера.

Обоснованию условий применения бестраншейного вскрытия, параметров системы разработки и основных параметров грузоподъемных машин на месторождениях природного камня посвящены работы Р.В. Кокунина [61, 62].

А.Г. Карауловым [56, 57] на мраморных месторождениях вопрос оптимизации параметров добычных работ рассматривался с точки зрения увеличения выхода блоков и комплексного использования всего добываемого сырья в системе «Карьер – камнеперерабатывающее производство».

В работе Габбасова Б.М. [25] обоснованы рациональные режимы работы алмазно-канатных пил при разработке месторождений природного камня в период отрицательных температур.

Получаем, что разработка месторождений мрамора для производства блочного камня имеет следующие особенности: сохранение в процессе добычи камня основных качественных показателей (прочность, блочность и декоративные свойства); использование специальных средств механизации на основных производственных процессах, методов отделения блоков камня от забоя, погрузки и транспортировки; перемещение в отвал или на пункт переработки попутно добываемой горной массы (некондиционного сырья), объем которой превышает выход крупных блоков.

В таблице 1.3 представлены ученые и их основные направления деятельности, которые внесли значительный вклад в теорию и практику добычи и переработки природного камня.

Таблица 1.3 – Систематизация научных направлений добычи и переработки природного камня

Проблема (научные направления)	Авторы
1. Систематическое изложение технологических процессов добычи блочного камня	Академик В.В. Ржевский, проф. д.т.н., А.С. Чирков, Г.В. Бычков, профессор, канд. техн. наук. Н.А. Малышева, канд. тех. наук В.Н. Сиренко
2. Обоснование рациональных режимов работы канатно-алмазных пил	Проф. д.т.н., Г.Д. Першин, канд. тех. наук Б.М. Габбасов, К.Д. Давтян
3. Определение выхода блоков на месторождениях природного камня	Проф. д.т.н., А.И. Косолапов, Н.Т. Бакка, Р.В. Акопян, М.С. Григорян, Б.П. Беликов, С.И. Подойников
4. Моделирование и геометризация различных показателей массива облицовочного камня	Проф. д.т.н., А.И. Косолапов, Н.Т. Бакка, О.П. Якобашвили, Е.В. Киселевский, В.В. Никитина, С.А. Корягина, Н.Н. Анощенко, Н.И. Моторный, А.А. Машанова
5. Определение области применения подземного и открытого способа разработки месторождений мрамора	Канд. тех. наук Е.В. Безверхая, А.Ю. Невежин, М.Ю. Кадеров
6. Расчет основных технико-экономических показателей канатного пиления	Канд. тех. наук В.А. Баграмян, проф. д.т.н., Г.Д. Першин
7. Обоснование технологии добычи мрамора с учетом региональных систем трещин	Канд. тех. наук А.Г. Караулов, канд. техн. наук Н.Г. Караулов

Горно-геологические условия (форма, мощность и угол падения залежи, физико-механические свойства и трещиноватость массива, мощность выветренных и вскрышных пород, наличие вредных включений (дайки инородных пород)) являются определяющими при выборе геотехнологии отработки месторождений белого мрамора.

В настоящее время на всех разрабатываемых месторождениях белого мрамора России применяется открытый способ разработки Подземным способом

разрабатывается лишь один из участков левобережной части Кибик-Кордонского месторождения [65].

Мраморные месторождений блочного камня вскрываются [100, 108, 126]:

- наклонными траншеями и полутраншеями;
- крутыми траншеями;
- без проведения траншей.

Вскрышную скальную толщу большой мощности подготавливают к выемке буровзрывным способом с предварительным щелеобразованием как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях, оставляя защитную зону, удаление которой ведется камнерезными машинами или щадящим взрыванием.

Выемочно-погрузочные работы скальной вскрыши выполняются строительными и карьерными экскаваторами с емкостью ковша не более 5,0 м³. Подготовка верхней части твердых и полускальных вскрышных пород ведется тракторными рыхлителями [14, 46].

В настоящее время используются следующие способы подготовки мрамора к выемке, основанные на выполнении вертикальных и горизонтальных пропилов следующими типами камнерезного оборудования:

- 1- баровыми камнерезными машинами (рисунок 1.3.1-1.3.5);
- 2- алмазно-канатными камнерезными машинами, оснащенными алмазными резцами (рисунок 1.3.6);
- 3 – комбинация баровых и алмазно-канатных камнерезных машин.

Необходимо отметить, что буровзрывной способ отделения мраморных блоков от массива является неэффективным, так как ужесточились требования к облицовочной продукции и появились новые технологии и современное зарубежное оборудование.

В России на месторождениях мрамора в основном преобладают камнерезные машины зарубежного производства: канатно-алмазные установки и баровые машины. Однако, в России существуют машиностроительные предприятия,

изготавливающие оборудования для камнедобывающей отрасли. «Режский экспериментальный завод» производит практически весь спектр горного оборудования для добычи мраморных блоков (рисунок 1.21). ОАО «Машиностроительный завод им. М.И. Калинина» (г. Екатеринбург) производит баровые машины МКБ-1М (рисунок 1.22). Отечественное оборудование уступает по техническим характеристикам зарубежным аналогам (таблица 1.4), поэтому в России на месторождениях мрамора применяется более производительное импортное оборудование, несмотря на его высокую стоимость.

Таблица 1.3 – Технические характеристики баровых камнерезных машин

Технические показатели	Оборудование машиностроительного завода им. М.И. Калинина (г. Екатеринбург)			Оборудование фирмы Fantini (Италия)		
	Виктория NF-04.10	Барс NF-04.60	МКБ-1М (ЗИК)	70.RA (рис. 1.24)	50.81/RA.T C (рис. 1.25)	GU.70 (рис. 1.23)
Применение	В карьере и шахте как добычное оборудование			В карьере и шахте как добычное оборудование		В шахте как проходческое и добычное оборудование
Глубина реза, м	до 3	до 2,5	2	до 6,2		до 3
Ширина реза, мм	41	41	42	38	38	38
Скорость движения цепи, м/с	0-0,66	0-0,7	0,48 0,58 0,84	До 0,7	До 0,7	До 0,71
Угол поворота бара, град	202	202	220	360	180	360
Скорость подачи, см/мин	0-38		0,66...25,6	3-15		3-10
Скорость передвижения, км/ч	-	0-2,5	-	-	-	До 7
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	21,5	46	28,25	49,2	49,2	60
Габаритные размеры, мм						
длина (без направляющих)	2070	4000	1340	2840		8340
ширина	1700	2500	2415	2150		2420
высота	1400	2100	1900	2380		320
Масса (без направляющих), кг	4500	7000	5600 с направляющей	6000	6000	24000

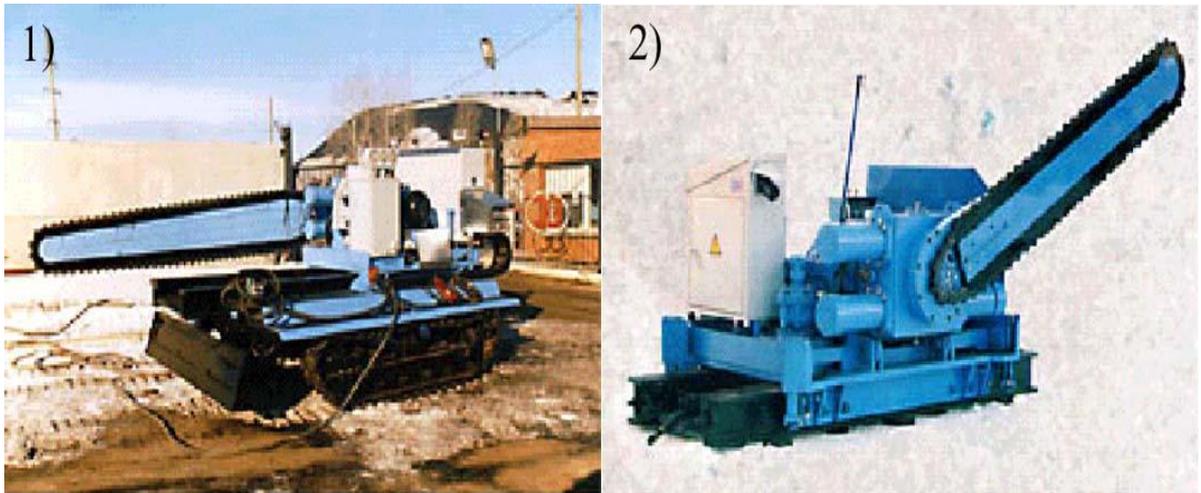


Рисунок 1.21 – Камнерезные баровые машины (Режский экспериментальный завод): 1- «Барс» NF-04.60; 2- «Виктория» NF-04.10 (б)



Рисунок 1.22 – Камнерезная баровая машина МКБ-1М (ЗИК) (завод им. М.И. Калинина)



Рисунок 1.23 – Баровая камнерезная машина GU.70 (Fantini)



Рисунок 1.24 – Баровая камнерезная машина 70.RA (Fantini)



Рисунок 1.25 – Баровая камнерезная машина 50.81/RA.TC (Fantini)



Рисунок 1.26 – Алмазно-канатная машина CVC 75 HPN
(Granі Ros мощность 55 кВт, диаметр ведущего шкива 810 мм)

Подготовку блочного камня к выемке на месторождениях мрамора осуществляют канатными алмазными пилами, баровыми машинами или их сочетанием.

Выемку и погрузку мраморного блочного камня выполняют механизмами, определяемыми особенностями разработки данного месторождения, а именно [19, 58, 62]:

- автокранами и стреловыми кранами на гусеничном или пневмоколесном ходу;
- тракторными тягачами и лебедками различных модификаций и типов;
- колесными погрузчиками;
- деррик-краном
- гидродомкратами, гидроподушками и пневмоподушками.

Пассировку (разделение блочного камня) выполняют преимущественно баровыми камнерезными машинами и алмазно-канатными машинами.

Системы разработки чаще сплошные, реже углубочные (Кибик-Кордонское месторождение, участок «Южный») с горизонтальными или наклонными выемочными слоями.

Микрокальцит, как было уже отмечено может производиться как из отходов производства блоков мрамора путем дополнительного дробления и измельчения мраморного окола (механическое), так и из целенаправленно добываемого сырья (механическое или с помощью БВР). Добыча микрокальцита (мраморный щебень) в качестве основного сырья может осуществляться как традиционным для карьеров природного камня оборудованием (баровыми и алмазно-канатными камнерезными машинами), так и с применением технологий, позволяющих обеспечить массовое извлечение мрамора (БВР, карьерные комбайны и тяжелые гидромолоты), которые представлены на рисунках 1.27-1.29.

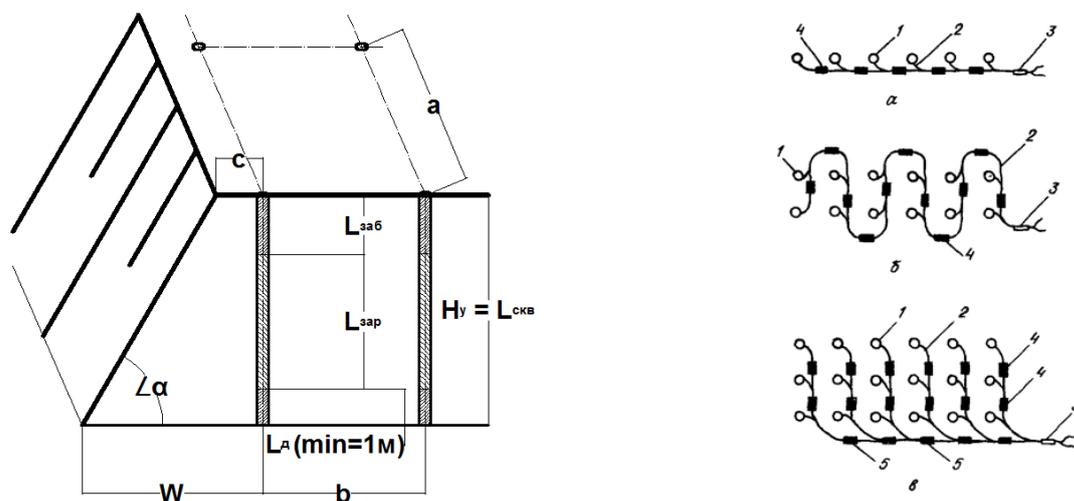


Рисунок 1.27 Конструкционные и геометрические параметры скважинных зарядов при добычи мраморного щебня

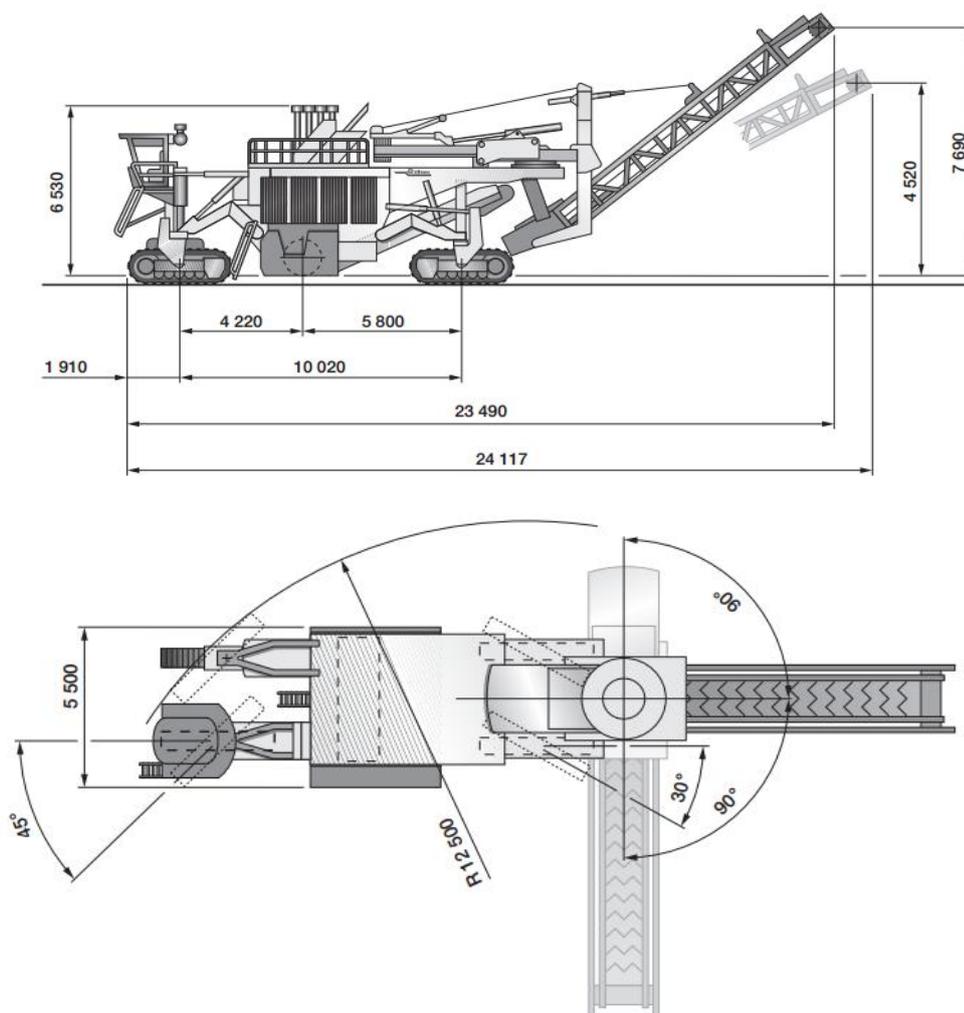


Рисунок 1.28 Конструкционные параметры карьерного комбайна Wirgten 4200 SM



Рисунок 1.29 Подготовка мрамора к выемке с помощью тяжелого гидромолота фирмы «Volvo»

Таким образом, современные технологии и имеющееся оборудование позволяют в локальных случаях обеспечивать решения, направленные на повышение полноты и комплексности освоения запасов месторождений мрамора. Однако данные решения применимы к конкретным условиям исследуемых месторождений и что более важно – к конкретному виду продукции. Не существует технических решений, направленных на обеспечение комплексности освоения запасов месторождений мрамора, при достижении максимального ассортимента готовой продукции карьера.

Комплексное освоение месторождения и рациональное использование сырья при добыче и переработке мрамора - это основная задача недропользователя, которая связана с совершенствованием и оптимизацией геотехнологических процессов при оптимальном использовании производственных комплексов оборудования, адаптированных к горно-геологическим, инженерно-геологическим и рыночным условиям.

Качество и виды товарной продукции, являются основополагающими и определяющими факторами при выборе способа добычи и технологии комплексной отработки месторождения.

1.4. Виды товарной продукции месторождений мрамора высокой степени белизны и требования предъявляемые к ним

Вид товарной продукции месторождений мрамора в первую очередь зависит от принятой технологии добычи, а во-вторую очередь, от технологии переработки, которые рассмотрены и представлены в п. 1.3 диссертационной работы.

На примере Еленинского и Полоцкого месторождений мрамора ООО «РИФ-Магнитогорск» рассмотрим виды товарной продукции в зависимости от принятых технологий добычи и переработки (рисунки 1.30 и 1.31).



Рисунок 1.30 - Спектр товарной продукции Еленинского месторождения мрамора

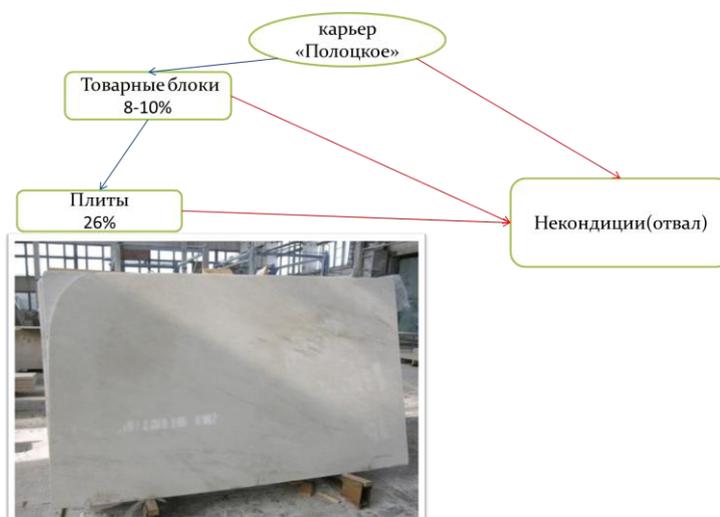


Рисунок 1.31 - Вид товарной продукции - мраморные блоки (плиты) на Полоцком месторождении мрамора

Конечной продукцией карьера по добычи мрамора в зависимости от лицензии, принятой технологии и согласно ГОСТ и ТУ являются:

1. блоки, добываемые из массива горных пород, обладающие декоративными свойствами, и предназначенные для изготовления облицовочных плит, архитектурно-строительных изделий и других облицовочных материалов, ГОСТ 9479-84 и ГОСТ 9479-98 [30, 31];

2. строительный камень, получаемый в процессе измельчения буровзрывным способом природного камня, предназначенный для производства галтованного и бутового камня, декоративного и строительного щебня, песка, минеральных наполнителей, используемых при производстве сухих строительных смесей, для сварочных материалов и в электротехнической отрасли, ТУ 08.11.11-001-21582590-2020 [116];

3. строительный щебень (зернистый сыпучий материал), получаемый дроблением горных пород и последующим рассевом продуктов дробления, предназначенный для получения минеральных наполнителей и заполнителей при производстве сухих строительных смесей, лакокрасочной продукции, пластмасс, чистящих порошков, буровых растворов, бумаги и картона, ТУ 08.12.12-001-21582590-2017 [117].

Получаем, что блоки служат сырьем или полуфабрикатом для получения в дальнейшем изделий из него [107]. Под блоком понимают продукт, состоящий из цельной горной породы, способный размещаться в рабочей зоне обрабатывающего станка, имеющий форму параллелепипеда и предназначенный для дальнейшей переработки с целью получения изделий из природного камня.

Блок предназначен для различных сфер применения. Его можно рассматривать как сырье, обеспечивающее жизнедеятельность камнеобрабатывающих заводов, а также как заготовку для скульптурных работ. Он может быть конечным продуктом, к напримеру, конструкционным строительным материалом. Блок размер которого больше рабочего пространства распиловочного станка, называются монолитом. Монолит также может служить заготовкой для различных изделий. Например, постамент для памятника, колонны. Знаменитый

Александрийский столб в Санкт-Петербурге высотой более 25 м и диаметром более 3 м у основания сделан из единого монолита. Главным предназначением блока является получение из него облицовочного материала (плит и плиток). Это наиболее массовая продукция, создаваемая по поточной технологии [95].

В соответствии с ГОСТ 9479-84 и ГОСТ 9479-98 камень блока оценивается по следующим физико-механическим показателям: предел прочности на сжатие в сухом состоянии, коэффициент снижения прочности при насыщении водой, марка по морозостойкости, водопоглощение, потеря массы при обработке образцов в растворе сернокислого натрия, истираемость, пористость, истинная и средняя плотность, предел прочности на растяжение при изгибе. Так, мрамор относится к породам средней прочности со следующими нормативными физико-механическими показателями представленными в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Физико-механические свойства мраморного блока

Наименование горной породы	Норма		
	Предел прочности на сжатие в сухом состоянии, МПа (кгс/см ²), не менее	Коэффициент снижения прочности при насыщении водой, не менее	Марка по морозостойкости, циклы не менее
Мрамор	40 (400)	0,7	F25

В мировой практике отсутствуют единые стандарты на блоки. Требования к блокам формулируются заказчиками. Например, в Европе до недавнего времени основными нормами по природному камню были немецкие (DIN), британские (BSI) и французские (AFNOR) [85]. Кроме того, применялись итальянские (UNI), испанские, португальские и бельгийские нормы.

В Финляндии, которая является основным поставщиком блоков на европейский рынок, различают две категории блоков I и II сорта. На качество блоков дается гарантия.

К I сорту относятся блоки, имеющие правильную форму параллелепипеда объемом более 2,5 м³, однородный состав, без наличия трещин. Если хоть одно из условий не удовлетворяется, блок переводится в категорию II сорта. Внутри I сорта цены на блоки — изменяются в зависимости от их длины и высоты. Если за базовую длину принять менее 2350 мм, то блок длиной 2360 - 2600 мм будет стоить на 10% дороже, а более 2610 мм — на 20 %. Блок высотой более 1160 мм на 11 - 14 % дороже стоимости блока высотой менее 1150 мм.

Для особо ценных видов камня коммерческими считаются блоки меньшего размера. Их цена будет меняться также в зависимости от длины и высоты. При этом ценовые изменения идут от размеров длин: менее 1550, 1560- 1950, 1960-2350 и более 2360 мм, и от размеров высоты — менее и более 750 мм. Ширина блока не учитывается при определении цены блока, т.к. она практически не влияет на выход плит с 1 м³ блока. На все остальные блоки гарантия качества не выдается. Они продаются по очень низким ценам.

В мире существует большое количество фирм, специализирующихся на добыче и продаже блоков. Многие страны свою политику строят только на добыче блоков.

Так, например, в Финляндии добывается около 110 тыс.м³ блоков и только 5% из них обрабатывается внутри страны. Оставшиеся 95% экспортируются во многие страны мира.

В России наблюдается тенденция освоения месторождений белого мрамора для добычи мраморного щебня и производства микрокальцита высокой степени белизны.

Микрокальцит - молотый кристаллический мрамор, полученный и разделенный на фракции в зависимости от крупности частиц. Микрокальцит является высококачественным минеральным наполнителем, который применяется различных отраслях промышленности. Микрокальцит выглядит как белый или светлый с оттенком порошок, который характеризуется высоким содержанием карбоната кальция (не менее 95-98%). Вредные примесим (2-5%) - это силикаты, оксиды железа, сера, магний, графит и алюминий. В промышленности используется микрокальцит с высокой степенью белизны и с содержанием карбоната кальция CaCO₃ не менее 90 %.

Область применения микрокальцита зависит от крупности частиц:

- микрокальцит МК-5 - для производства высококачественных эмалей на акриловой и масляной основе, ВД красок, антикоррозионных грунтовок, светлых атмосферостойких покрытий, белых и цветных затирок и замазки, специальных реставрационных растворов, в производстве резинотехнических изделия, в производстве пластмассы: при производстве кабеля, пластика и

металлопластика;

- микрокальцит МК-40, МК-50 - для производства сухих строительных смесей, водно- дисперсионной краски, клея, герметики, мастики, затирки, линолеума. Также используется для простой побелки (в смеси с известью);

- микрокальцит МК-60, МК-80, МК-100, МК-160, МК-200 – для производства сухих строительных смесей, шпатлевок, штукатурок, в качестве наполнителя для чистящих порошков и паст, для производства искусственного камня. В производстве высокопрочных бетонов используется в качестве окрашивающего пигмента. В производстве плитки микрокальцит используется как безугадочный наполнитель. Применяется в производстве кровельных материалов. В качестве сырья для стекольной промышленности. Применяется в качестве удобрения для почвы. Применяется в медицине для: изготовления ампул, медицинской посуды;

- микрокальцит МК-315 - сухие строительные смеси, наполнитель для производства плитки. В производстве электродов используется в качестве компонента обмазки электродов для электросварки и покрытий литейных форм;

- микрокальцит МК-500 - сухие строительные смеси, наполнитель для производства плитки, блоков различного назначения;

- мраморная крошка 0,2-0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,0-3,0; 1,5-2,0; 2,0-2,5 - в производстве декоративных штукатурок и покрытий, фасадных систем, как наполнитель при производстве плитки, и блоков различного назначения. В производстве плитки с покрытием из каменной крошки. Применяется в ландшафтном дизайне в производстве бетонно-мозаичных полов с толщиной слоя не более 1 см;

- мраморный щебень 2,5-5; 5-10; 10-20; 5-20 - производство плитки, производство бетонно-мозаичных полов, производство промышленных фильтров для очистки и дренажных систем. Применяется в ландшафтном дизайне, при производстве панелей и плит с мраморным покрытием;

- мраморный щебень 0-20; 20-40; 40-70 – сырье для производства более мелкой мраморной крошки. Применяется в ландшафтном дизайне.

Характеристиками, наиболее влияющими на цену микрокальцита, являются белизна и фракция. Также на цену оказывает влияние упаковка и престиж бренда – цены на турецкий и греческий микрокальцит варьируются в пределах 9000 – 10000 рублей за тонну, в то время как микрокальцит от отечественных производителей имеет разброс цен от 1 500 до 5700 рублей за тонну в зависимости от показателей качества.

Некондиционное сырье камнедобычи и камнеобработки является крупным резервом интенсификации производства. Основные виды продукции после переработки некондиционного сырья следующие:

- глыбы (всех трех подгрупп) - переработка их на декоративные щебень и песок (ГОСТ 22856 - 77), используются в дальнейшем для получения: искусственных блоков (ГОСТ 21-40 - 84) и декоративных плит (ГОСТ 24099-80); на строительный щебень (ГОСТ 8267-82), бутовый камень (ГОСТ 22132-76), камни бортовые (ГОСТ 6666-81) и брусчатые (ГОСТ 23668-79) и т. п. Кроме того, наиболее монолитная часть глыб (главным образом, крупных и средних) может перерабатываться на облицовочные плиты (ГОСТ 9480-89), архитектурно-строительные изделия (23342- 78), а также на различные товары народного потребления, включая ритуальные изделия (детали памятников);

- окола - производство щебня и песка, декоративных облицовочных пиленых плит и архитектурно-строительных изделий, а также некоторых специальных облицовочных изделий местного характера (корки, колотые полосы и т. п.) (тип III по ГОСТ 24099-70)

- бут и щебень - переработка на щебень и песок декоративные, строительный щебень, бутовый камень, для получения различных минеральных добавок, известняковой муки, компонентов сельскохозяйственных удобрений и т. п.

- штыб имеет карбонатный состав, утилизация этого вида отходов осуществляется в направлении производства известняковой муки, карбонатного песка, минеральных добавок.

1.5. Задачи исследований

- анализ современных подходов к комплексному освоению запасов месторождений белого мрамора и тенденций развития техники и технологии его добычи и переработки;
- обоснование критериев оценки качества и видов товарной продукции при комплексном освоении месторождений белого мрамора;
- обоснование технологий буровзрывной подготовки и механического рыхления массива горных пород, с учетом горно-геологических условий, месторождений белого мрамора;
- классификация технологий добычи блоков и мраморного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны на одном участке недр;
- разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей одновременную добычу блочного камня и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны;
- технико-экономическая оценка предлагаемых технологических решений.

Выводы по главе 1

1. В результате анализа отечественной и зарубежной практики разработки месторождений белого мрамора установлено, что применяемые технологии добычи блочного камня и мраморного щебня являются взаимоисключающими в пределах одного участка недр.

2. Рассмотрены альтернативные способы подготовки мраморного щебня, основанные на механическом рыхлении с помощью фрезерных комбайнов и тяжелых гидромолотов.

3. Установлено, что в мировой практике отсутствуют единые стандарты на блоки и мраморный щебень. Требования к ним формулируются заказчиками, что усложняет обоснование вида товарной продукции и качественных показателей на стадии проектирования месторождения белого мрамора высокой степени белизны.

4. Повышение полноты и комплексности отработки месторождений белого мрамора достигается применением технологий, позволяющих в пределах одного карьерного поля одновременно добывать высокодекоративный блочный камень и фракционный щебень для производства микрокальцита высокой степени белизны.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МРАМОРА

2.1. Критерии оценки качества товарной продукции месторождений мрамора высокой степени белизны

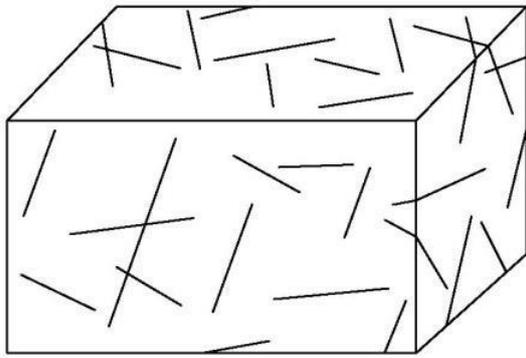
Выбор геотехнологии освоения месторождения мрамора основывается на необходимости использовании полной и достоверной информации о горно-геологическом строении природного массива и его горнотехнических свойств. Основными характеристиками массива, приоритетными при выборе и обосновании параметров открытой геотехнологии являются его структура (трещиноватость и анизотропность) и качественные характеристики (физико-механические свойства, декоративность, белизна и желтизна) слагающих пород.

Основными критериями качества продукции месторождения мрамора высокой степени белизны являются для блочного камня: блочность (трещиноватость) и декоративность, для щебня - степень белизны и желтизны, гранулометрический состав и выход негабарита.

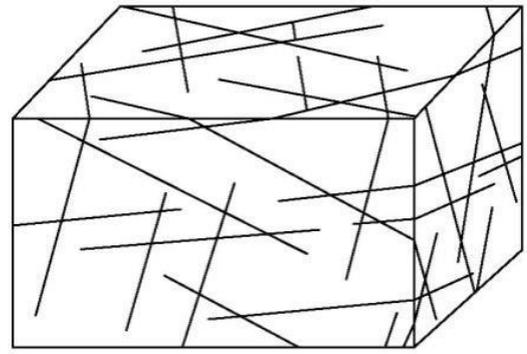
При разработке блочного камня выбор технологии добычи и определение параметров осуществляется на основе данных о блочности месторождения. Доказано, что теоретический выход блоков, зависит от природной трещиноватости и таких ее показателей, как неортогональность систем трещин и расстояния между ними [109].

Л. Мюллером [77] предложена классификация горных массивов по проницаемости твердой фазы системой трещин, включающая четыре основных типа массивов (рисунок 2.1):

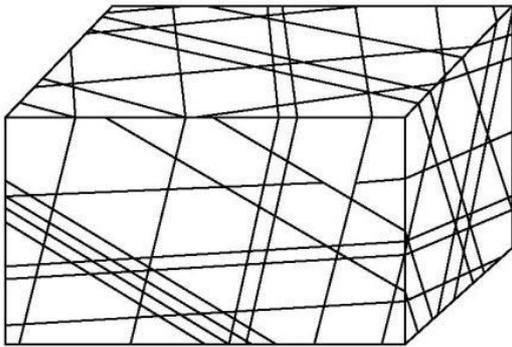
- 1 тип - *массивы сплошные;*
- 2 тип – *массивы не полностью растрескавшиеся;*
- 3 тип – *массивы полностью трещиноватые;*
- 4 тип – *массивы обломочные, несцементированные;*



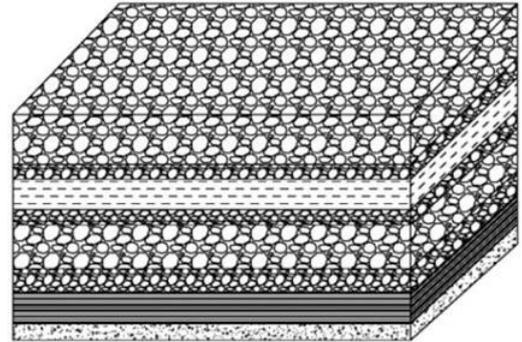
Тип 1



Тип 2



Тип 3



Тип 4

Рисунок 2.1 – Классификация горных массивов по проницаемости твердой фазы системой трещин (Л. Мюллер)

Теоретическому исследованию поддается только первый тип, так как только для него применимы законы механики сплошной среды.

Кроме того существует временная классификация горных пород по степени трещиноватости в массиве (по В.К. Рубцову), где основным классификационным признаком степени трещиноватости всех пород, за исключением слоистых, является среднее расстояние между трещинами. Для слоистых пород основным классификационным признаком является содержание в массиве кусков данной крупности.

Для обеспечения комплексности освоения месторождений мрамора и выбора технологии отработки необходимо выполнять зонирование (районирование) месторождения по степени трещиноватости.

Степень трещиноватости и категория трещиноватости пород определяются различными способами и методами: по керну, акустическими, планиметрическими и фотопланиметрическими измерениями по поверхности массивов, изучением размеров отдельностей после взрыва и другими. Для действующих карьеров основным при зонировании (районировании) является планиметрический метод, для проектируемых - метод изучения кернов или опытный взрыв.

По степени трещиноватости (блочности) в массиве различают пять категорий скальных и полускальных пород (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Временная классификация скальных пород по степени трещиноватости (блочности) и содержанию крупных кусков (В.К. Рубцов)

Категория трещиноватости пород	Степень трещиноватости (блочности) массива	Среднее расстояние между естественными трещинами всей системы, м	Удельная трещиноватость, 1/м	Содержание, %, в массиве отдельностей размером, мм		
				+300 м	+700	+1000
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	До 0,1	Более 10	До 10	Близко к нулю	Нет
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	0,1-0,5	2-10	10-70	до 30	До 5
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	0,5-1,0	1-2	70-100	30-80	5-40
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1,0-1,5	1,0-0,65	100	80-100	40-100
V	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	Свыше 1,5	Менее 0,65	100	100	100

У чрезвычайно трещиноватых пород акустический показатель трещиноватости A_i (отношение квадратов скоростей продольных волн в массиве и в образце данной породы) равен 0,1-0,01, а силы сцепления между отдельностями весьма малы ($\lambda = 0,01-0,065$).

λ - коэффициент структурного ослабления (отношение сцепления отдельного куска породы при отрыве от массива C_m к сцеплению ее в образце (куске) C_k).

Сильнотрещиноватый массив ($A_i = 0,25-0,1, \lambda = 1-0,05$).

Среднотрещиноватый массив (характерно блочное строение с хорошо различимыми трещинами; $A_i = 0,4-0,25, \lambda = 0,1-0,55$).

Малотрещиноватый массив (характерно выраженное блочное строение с видимыми трещинами; $A_i = 0,6-0,4, \lambda = 0,5-0,9$).

У практически монолитных пород $A_i = 1-0,6; \lambda = 0,6-0,98$.

На качество товарного блока и технологию его отделения от массива основное влияние оказывает степень трещиноватости. При этом стоимость продукции определяется не только размерами отдельности, но и декоративностью.

Декоративность, как прочность и стойкость к атмосферным воздействиям, является основным достоинством природного мрамора [54,123]. Именно декоративность мрамора и стала основой его использования в архитектуре и строительстве. Факторами декоративности являются структура мрамора, его прозрачность и окраска. Согласно ГОСТ 9479-98 [32], суммарная оценка декоративности 24,5 балла соответствует горным породам II класса – декоративным. Наличие в мраморе полос и гнезд гидроокислов железа, характерных для мрамора затронутого выветриванием средней зоны, приводит к применению корректирующего коэффициента признаков цвета равного 0,7 и снижению итоговой оценки декоративности до 21,5 балла – малодекоративному. Для месторождений мрамора высокой степени белизны даже немногие включения часто отрицательно влияют на долговечность и декоративность как блочного камня, так и строительного материала (щебеня) [18].

С точки зрения наибольшей стоимости товарной продукции обладают участки месторождений мрамора высокой степени белизны с категорией трещиноватости пород III-V.

Месторождения мрамора высокой степени белизны, категорий трещиноватости I-III не пригодны для получения блочного камня и могут быть использованы для производства щебня, в том числе для микрокальцита.

При освоении запасов месторождений мрамора высокой степени белизны, основными показателями качества являются потери и разубоживание полезного

ископаемого. Наивысшая ценность микрокальцита достигается переработкой щебня из мрамора со степенью белизны не менее 96 %, что технологически возможно обеспечить только исключением его засорения доломитизированными известняками (темные включения), ожелезненными мраморами (желтые включения) и иными включениями.

На основании отраслевой инструкции по определению и учету потерь нерудных строительных материалов при добыче [84], в работе предложена методика определения потерь и разубоживание запасов полезных ископаемых месторождений мрамора высокой степени белизны.

Потери (П) – это часть балансовых запасов полезного ископаемого, которые не извлекаются из недр или поступают на отвал со вскрышными и вмещающими породами.

Условно потери делятся на:

- 1) общекарьерные потери – это потери балансовых запасов, которые не извлекаются из недр (охранные целики, располагаются под капитальными траншеями, под водоносными горизонтами (их обычно списывают при проектировании); законтурные запасы);
- 2) эксплуатационные потери (рисунок 2.2), которые подразделяются:
 - а) *в массиве* (на контакте, в маломощных прослойках, под оползнями, при зачистке слоев);
 - б) *при подготовке к выемке и выемке полезного ископаемого* (разброс на вскрышные уступы и вмещающие породы, при перегрузке, при селективной выемке из развала).

Разубоживание (Р) – это снижение качественных показателей в добытом полезном ископаемом по сравнению с недрами за счет перемешивания с вскрышными и вмещающими породами (включениями).

Разубоживание как показатель качества рассматривается в период эксплуатации месторождения при выполнении основных технологических процессов. Так разубоживание условно подразделяется (рис. 2.2):

а) *разубоживание в процессе отбойки* (прихват вскрышных и вмещающих пород при подготовке и выемке добычных блоков);

б) *разубоживание в процессе выемки* (прихват экскаватором отбитых вскрышных и вмещающих пород при селективной выемке; валовая выемка сложного развала).

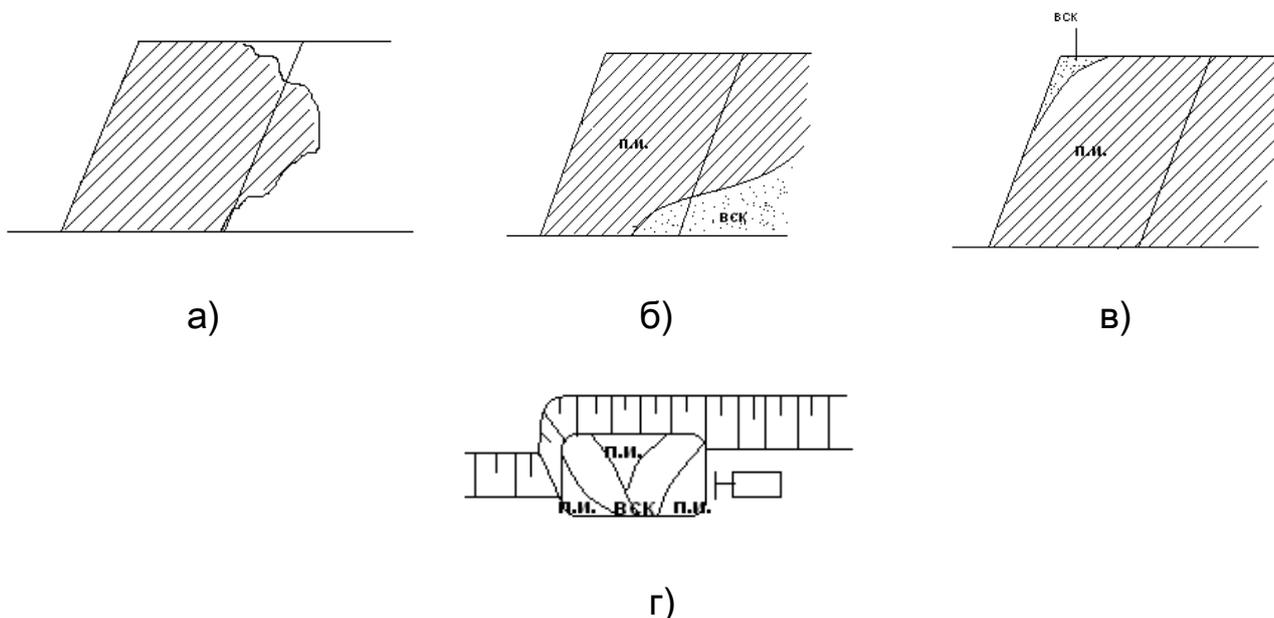


Рисунок 2.2 – Потери и разубоживание в массиве и развале:

- а) потери (П) при оставлении части полезного ископаемого на контакте с вскрышным блоком или вмещающими породами (включениями);
- б) и в) разубоживание (Р) за счет прихвата вскрышных и вмещающих пород при подготовке и выемке добычных блоков на контакте со вскрышным блоком и вмещающими породами (включениями);
- г) потери (П) и разубоживание (Р) при селективной или валовой выемке сложного развала.

Потери и разубоживание характеризуются следующими показателями:

Показатели потерь:

1) *коэффициент потерь* (П) – это доля теряемого полезного ископаемого из общих балансовых запасов,

$$П = \frac{Q_n - Q_d}{Q_n} \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

где Q_n - запасы в недрах (балансовые запасы), т (m^3);

Q_d - добытые запасы, т (m^3).

2) коэффициент извлечения (ε), обратный показатель коэффициента потерь – это доля извлекаемого полезного ископаемого в общих балансовых запасах,

$$\varepsilon = \frac{Q_d}{Q_n} 100, \% \quad (2.2)$$

Показатели разубоживания:

1) коэффициент разубоживания (P) – это доля потерь содержания качественного показателя в общем содержании добытого полезного ископаемого,

$$P = \frac{\alpha_n - \alpha_d}{\alpha_n} 100, \% \quad (2.3)$$

где α_n - содержание качественного показателя в недрах (балансовых запасах) или залежах, %;

α_d - содержание качественного показателя в добытом полезном ископаемом, %.

2) коэффициент снижения качества (ε') – это снижения содержания качественного показателя в добытом полезном ископаемом по сравнению с содержанием в недрах (балансовых запасах) или залежах,

$$\varepsilon' = \frac{\alpha_d}{\alpha_n} 100, \% \quad (2.4)$$

3) коэффициент засорения (P_3) – это доля примешивания вскрышных и вмещающих пород в общем объеме добытого полезного ископаемого,

$$P_3 = \frac{Q_{p(вск)}}{Q_d} 100, \% \quad (2.5)$$

где $Q_{p(вск)}$ - объем разубоживания (засорения), примешанные вскрышные и вмещающие породы, m^3 .

С учетом того, что определяющим фактором стоимости микрокальцита является его белизна, в процессе добычи категорически не допускается разубоживание за счет примешивания различных включений.

Многолетний практический опыт отработки месторождений мрамора Еленинской группы показывает, что даже попадание глины в кузов самосвала в

процессе погрузки приводит к снижению природной степени белизны с 98% до 80%, что в свою очередь снижает стоимость микрокальцита в 4 раза.

Таким образом, для оценки качества добытого сырья месторождений мрамора высокой степени белизны необходимо применять не показатель потерь, а показатель разубоживания, а именно коэффициент засорения.

Оценка качества, добываемого сырья, сводится к определению объема потерь и засорения. Так 95-98% объема всех эксплуатационных потерь и засорений приходится на приконтактные зоны.

Объемы потерь и засорения можно определить двумя способами:

- 1) прямой ;
- 2) косвенный.

Прямой способ заключается в измерении теряемых и засоряемых объемов на поперечных сечениях и в планах залежи в эксплуатационных блоках (масштаб М 1:100, М 1:200). Контакты при этом следует спрямлять (усреднять).

$$Q_n = \overline{s_n} \cdot l \cdot \gamma_p, \text{ T(м}^3\text{)} \quad (2.6)$$

где $\overline{s_n}$ - средняя площадь поперечного сечения теряемой призмы, м²

В работе для определения потерь и засорения прямым способом с учетом развития фронта работ на уступе предложены следующие расчетные схемы (рисунок 2.3 и 2.4):

а) Объем потерь, Q_n (FCG) при развитии фронта работ от висячего бока залежи к лежащему, при $\alpha > \beta$:

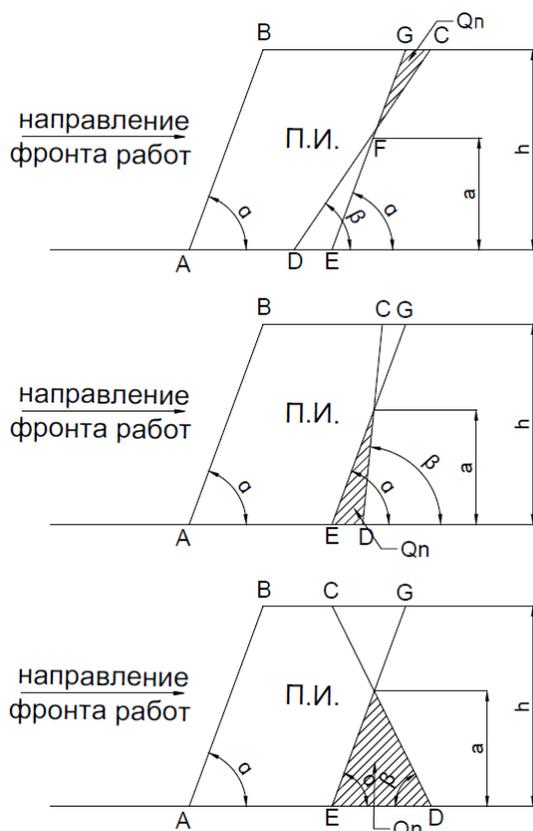
$$Q_n = S_n \cdot l \cdot \gamma = \frac{(h - a)^2}{2} \cdot (\text{ctg } \beta - \text{ctg } \alpha) \cdot l \cdot \gamma \quad (2.8)$$

б) Объем потерь, Q_n (EDF) при развитии фронта работ от висячего бока залежи к лежащему, при $\alpha < \beta$:

$$Q_n = S_n \cdot l \cdot \gamma = \frac{a^2}{2} \cdot (\text{ctg } \alpha - \text{ctg } \beta) \cdot l \cdot \gamma \quad (2.9)$$

в) Объем потерь, Q_n (EDF) при развитии фронта работ от лежащего бока залежи к висящему:

$$Q_n = S_n \cdot l \cdot \gamma = \frac{(h - a)^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) \cdot l \cdot \gamma \quad (2.10)$$



а) Фронт работ от
висячего бока залежи к
лежащему, при $\alpha > \beta$

б) Фронт работ от
висячего бока залежи к
лежащему, при
 $\alpha < \beta$

в) Фронт работ от
лежащего бока залежи к
висячему

Рисунок 2.3 – Схемы к определению потерь на контакте полезного ископаемого с вскрышными и вмещающими породами, в зависимости от направления развития фронта работ на уступе:

α - угол откоса уступа; β - угол падения залежи; Q_n – объем потерь, м³

а) Объем засорения, $Q_{p(\text{вск})}$ (EFD) при развитии фронта работ от висячего бока залежи к лежащему, при $\alpha > \beta$:

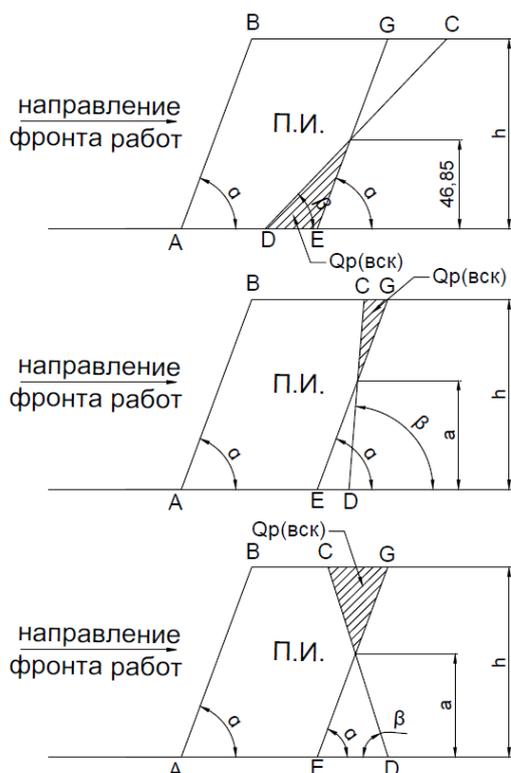
$$Q_{p(\text{вск})} = \frac{a^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha) \cdot l \cdot \gamma \quad (2.8)$$

б) Объем засорения, $Q_{p(\text{вск})}$ (FCG) при развитии фронта работ от висячего бока залежи к лежащему, при $\alpha < \beta$:

$$Q_{p(\text{вск})} = \frac{(h - a)^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) \cdot l \cdot \gamma \quad (2.9)$$

в) Объем засорения, $Q_{p(\text{вск})}$ (FCG) при развитии фронта работ от лежащего бока залежи к висячему:

$$Q_{p(\text{вск})} = \frac{(h - a)^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) \cdot l \cdot \gamma \quad (2.10)$$



а) Фронт работ от висячего бока залежи к лежащему, при $\alpha > \beta$

б) Фронт работ от висячего бока залежи к лежащему, при $\alpha < \beta$

в) Фронт работ от лежащего бока залежи к висячему

Рисунок 2.4 – Схемы к определению засорения на контакте полезного ископаемого с вскрышными и вмещающими породами в зависимости от направления развития фронта работ на уступе:

α - угол откоса уступа; β - угол падения залежи;

$Q_{p(вск)}$ – объем разубоживания (засорения), примешанные вскрышные и вмещающие породы, м³.

Объем эксплуатационных потерь и засорения зависит от технологических параметров отработки выемочных блоков. Так, в таблице 2.2 и на рисунке 2.5 представлен анализ данных в период с 2019 по 2021 года для условий Еленинского месторождения по объемам потерь и засорения. Установлены зависимости коэффициентов потерь и засорения от сортности (степени белизны) мрамора. Анализ установленных зависимостей позволяет сделать вывод, что минимальные объемы разубоживания (коэффициент засорения, $P_3 = 2,4-3,1\%$) для 1 сорта мрамора (высокая степень белизны) приводят к максимальным потерям (коэффициент потерь, $\Pi = 13,1-19,7\%$). То есть, увеличение коэффициента засорения на каждые 2% приводит к увеличению коэффициента потерь не менее чем на 4%.

Таблица 2.2 - Объемы потерь и засорения мрамора высокой степени белизны на Еленинском месторождении в зависимости от сортности (степени белизны) в период с 2019 по 2021 года

Сорт	Белизна, %	Доля сортности в объеме добычи, %	Объем по сортам, м ³	Коэффициент засорения, % (включения)	Средний коэффициент засорения, %	Объем засорения, м ³	Коэффициент потерь, %	Средний коэффициент потерь, %	Объем потерь, м ³	Стоимость по сортам руб. с НДС
Объем добычи (2019 год) 304 000 м ³										
1	96-100	40,1	122 000	2,4	7,4	2 928	17,9	14,6	21 838	810
2	94-96	25,8	78 500	5,2		4 082	12,1		9 499	595
3	92-94	22,9	69 500	8,9		6 186	9,2		6 394	390
4	90-92	6,6	20 000	10,1		2 020	5,9		1 180	170
5	менее 90	4,6	14 000	12,3		1 722	3,1		434	120
Объем добычи (2020 год) 247 400 м ³										
1	96-100	54,2	134 000	3,1	6,2	4 154	13,1	11,8	17 554	820
2	94-96	21,5	53 200	4,8		2 554	10,8		5 746	610
3	92-94	15,0	37 000	7,5		2 775	8,9		3 293	410
4	90-92	5,7	14 000	9,7		1 358	6,9		966	190
5	менее 90	3,7	9 200	12,9		1 187	2		184	125
Объем добычи (2021 год) 340 000 м ³										
1	96-100	44,5	151 200	2,9	7,6	4 385	18,7	16,2	28 274	850
2	94-96	20,9	71 200	4,8		3 418	15,2		10 822	640
3	92-94	15,9	54 000	8,2		4 428	13,8		7 452	440
4	90-92	12,2	41 600	10,3		4 285	9,9		4 118	200
5	менее 90	6,5	22 000	13,2		2 904	6,5		1 430	125

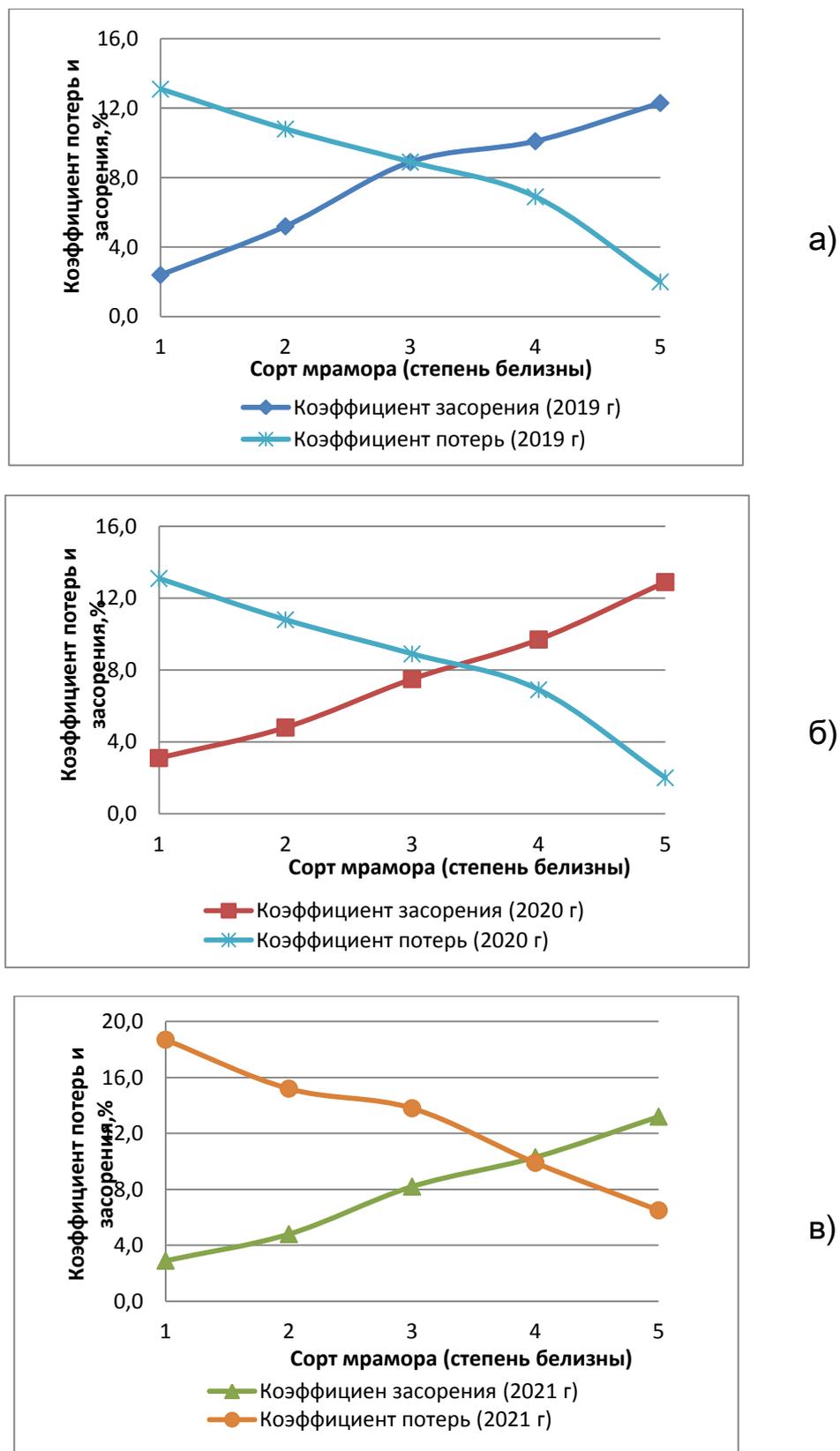


Рисунок 2.5 - Зависимости коэффициентов потерь и засорения от сорта мрамора (степени белизны) на Еленинском месторождении:
а) 2019 г.; б) 2020 г.; в) 2021 г.

Таким образом, между потерями и разубоживанием существует обратная нелинейная зависимость. Степень белизны мрамора и как следствие ухудшение качества напрямую зависят от площади и формы контакта серых и желтых включений. Природные включения имеют различные формы, размеры, угол падения. Чем изменчивей угол падения, мощность и форма, тем сложнее обеспечивать минимальные потери и разубоживание, так как в этом случае множество контактов и площадей соприкосновения.

Количественно это можно оценить показателем чистоты:

$$K_{ч} = \frac{S_{\text{поверхн. вредн. вкл.}}}{V_{\text{пи}}}, \text{ м}^2 / \text{ м}^3 \quad (2.10)$$

$S_{\text{поверхн. вредн. вкл.}}$ – площадь поверхности вредных включений, м^2 ;

$V_{\text{пи}}$ – объем полезного ископаемого (блока, по горизонту, общекарьерный, текущий)

Получаем, чем больше доля объема приконтурной ленты, тем сложнее залежь и месторождение в целом.

Между показателем чистоты и разубоживанием существует прямо пропорциональная зависимость.

Соотношение между потерями и разубоживанием на месторождении белого мрамора зависит от показателя чистоты.

Поэтому, при добыче щебня на месторождениях белого мрамора для производства микрокальцита высокой степени белизны, грансостав отражает качество взрывного дробления и в целом качество готовой продукции по сортам с учетом белизны и фракционности.

Гранулометрический состав определяется ситовым анализом (грохочением), фотопланометрическим методом и, в ряде случаев, натурными замерами по поверхности развала горной массы [71].

Для оценки качества взрывного дробления полезного ископаемого и определения содержания фракции разной крупности в развале до и после производства массовых взрывов используют поверхностные методы измерения. Измерения производятся непосредственно на самом развале (в натуре) или на

изображениях поверхностей развала - фотографиях (фотопланограммы). Подсчет содержания фракции при обработке фотографий осуществляется следующими способами:

- *планиметрический способ подсчета* (по суммарным площадям горизонтальных проекций кусков каждой фракции);
- *линейный способ подсчета* (по суммарной длине отрезков, занимаемых кусками каждой фракции крупности вдоль определенных линий подсчета);
- *точечный способ подсчета* (по общему числу точек, приходящихся на куски каждой фракции крупности);
- *стереограмметрический способ* (по стереоскопическим фотоснимкам с подсчетом кусковатости по ним на стереокомпараторе)

В работе использовался фотопланиметрический способ с линейным подсчетом проекции кусков каждой фракции. Подсчет гранулометрического состава горной массы выполняется с использованием формулы:

$$N = \frac{\sum L_K}{\sum L_H} 100 \% \quad , \quad (2.11)$$

где L_K - суммарная длина кусков данного размера;

L_H - суммарная длина линий замера.

Таким образом, на качество товарной продукции месторождений Еленинской группы влияют: потери (переизмельчение, выход негабарита, гранулометрический состав); разубоживание (примешивание посторонних включений - снижение белизны, переизмельчение в зоне контакта).

Следует отметить, что наибольшая стоимость товарной продукции обеспечивается при переработке белого мрамора на дробильно-сортировочной установке (ДСУ). При этом фракция щебня составляет 40-200 мм и 20-40 мм со степенью белизны более 94% и коэффициентом разубоживания до 4% (рисунок 2.6).

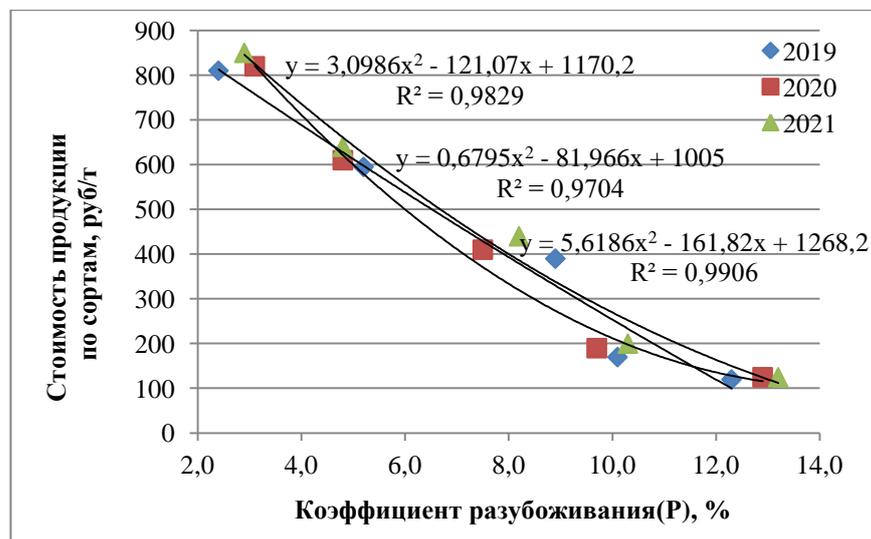


Рисунок 2.6 – Графики зависимости стоимости мраморного щебня по сортам от коэффициента разубоживания

Таким образом, при отработке месторождений мрамора высокой степени белизны качество и виды товарной продукции, являются основополагающими факторами, которые определяют выбор способа добычи и технологии комплексной отработки месторождения.

Обеспечение показателей качества продукции карьеров по добычи мрамора высокой степени белизны достигается технологическими решениями, предусматривающие применение разнообразного горно-транспортного оборудования. Для повышения полноты освоения запасов месторождений мрамора необходимы исследования технологий его добычи, направленные на обеспечение не только высокой ценности исходного сырья (блок, щебень), сколько готовой продукции.

2.2. Систематизация технологий добычи мрамора, обеспечивающих высокую ценность продукции

На Еленинском и Полоцком месторождениях имеются участки для добычи блочного камня и щебня, пригодного для переработки на микрокальцит. Существующая научно-методическая база проектирования карьеров по добыче мрамора делится на обоснование параметров технологии отработки блочного камня и строительного щебня. Соответственно на этапе проектирования осуществляется выбор взаимоисключающего способа в зависимости от товарной продукции (блок или щебень) подготовки и добычи в первом случае – механического отделения при локальном воздействии (АКС, БМ, клинья и др.), во втором случае – химическая энергия ВВ на весь объем массива, что не обеспечивает комплексного освоения месторождения мрамора.

В работе рассмотрены технико-технологические способы добычи мрамора высокой степени белизны с точки зрения технологичности, производительности и безопасности для получения продукции высокой ценности.

Преимуществом буровзрывного способа подготовки камня к выемке является его относительно высокая производительность [37,40, 118]. Данный способ подготовки к выемке блочного камня основан на принципе динамического воздействия низкобрызганных (кумулятивные, шланговые эмульсионные и эластичные трубчатые) ВВ. Для БВР характерен общеизвестный недостаток – разрушение в околоспутовой области (5 – 15 см вглубь), что снижает выход товарных блоков из-за дробления горной породы, распределенной по площади стандартного по размерам блока [60]. Это сформировало тенденцию применения алмазно-канатных машин (АКМ), которые особенно используются в условиях со сложным залеганием в массиве природных трещин.

Внедрение в производство АКМ существенно изменило добычу и параметры системы разработки блочного мрамора, так высота добычного уступа с 2 м увеличилась до 6-12 м [85]. Сдерживающим фактором являются более высокие удельные затраты за счет дорогостоящего гибкого алмазного инструмента. Наметились тенденции снижения его цены и как следствие увеличение доли его

применения на карьерах мрамора [89]. При этом в конкретных условиях на процесс распиливания и его результаты оказывают влияние минералогические и механические свойства пород [110].

В последние годы в практику внедряются новые безвзрывные способы добычи мрамора, такие как невзрывные способы щадящего разрушения при подготовке блочного камня.

Так, для отделения блоков от массива применяют химические генераторы давления, одним из которых является газогенератор хлоратный патронированный (ГХП). В России также получили широкое применение газогенераторы давления шпуровые (ГДШ).

Несмотря на совершенствования способов невзрывного разрушения их применение в условиях месторождения мрамора сопровождается сильным нарушением целостности камня для подготовки блока к выемке.

На практике широкое применение получил метод направленного гидроразрыва (НГР), а для усиления направленности разрыва массива используют твердосплавные вставки на инструменте, нарезающие на стенках шпура концентраторы напряжений (борозды) при ударном внедрении [20].

Одним из перспективных способов, обеспечивающий снижение энергоемкости, материальных затрат и сохранение физико-технических характеристик блочного камня, является способ с применением невзрывчатых расширяющих смесей типа НРС-1, РТМ-100, «Тихий взрыв» (аналог – смесь известковая для горных и буровых работ (СИГБ), MaxDinamitCement; Bristar, Demeks). Основным ограничением, сдерживающим использование НРС в условиях месторождений белого мрамора, является недостаточно надежная его работа при низких температурах [96].

Выбор способа подготовки белого мрамора к отделению и выемке блочного камня зависит от прочностных свойств, ценности камня и систем вертикальных (горизонтальных), продольных и поперечных трещин массива. При оценке ценности камня в первую очередь оцениваются его декоративные свойства, а также учитывается спрос на определенный вид продукции [35, 87].

В работе исследованиями установлено [89], что на месторождениях где отсутствуют четко выраженные постельные трещины, а существующие трещины по степени проявления являются закрытого типа - целесообразно применять АКМ, так как использование БВР и ГХП неизбежно приведет к формированию дополнительных трещин и к снижению качества блоков вплоть до его потери.

Таким образом, все способы подготовки блочного камня к выемке заключаются в создании магистральной трещины в породном массиве. При добыче блочного камня используют следующие способы подготовки к выемке (рисунок 2.6), условно которые можно разделить на три группы [37]:

- взрывной;
- механический;
- с помощью невзрывчатых разрушающих составов (НРС);

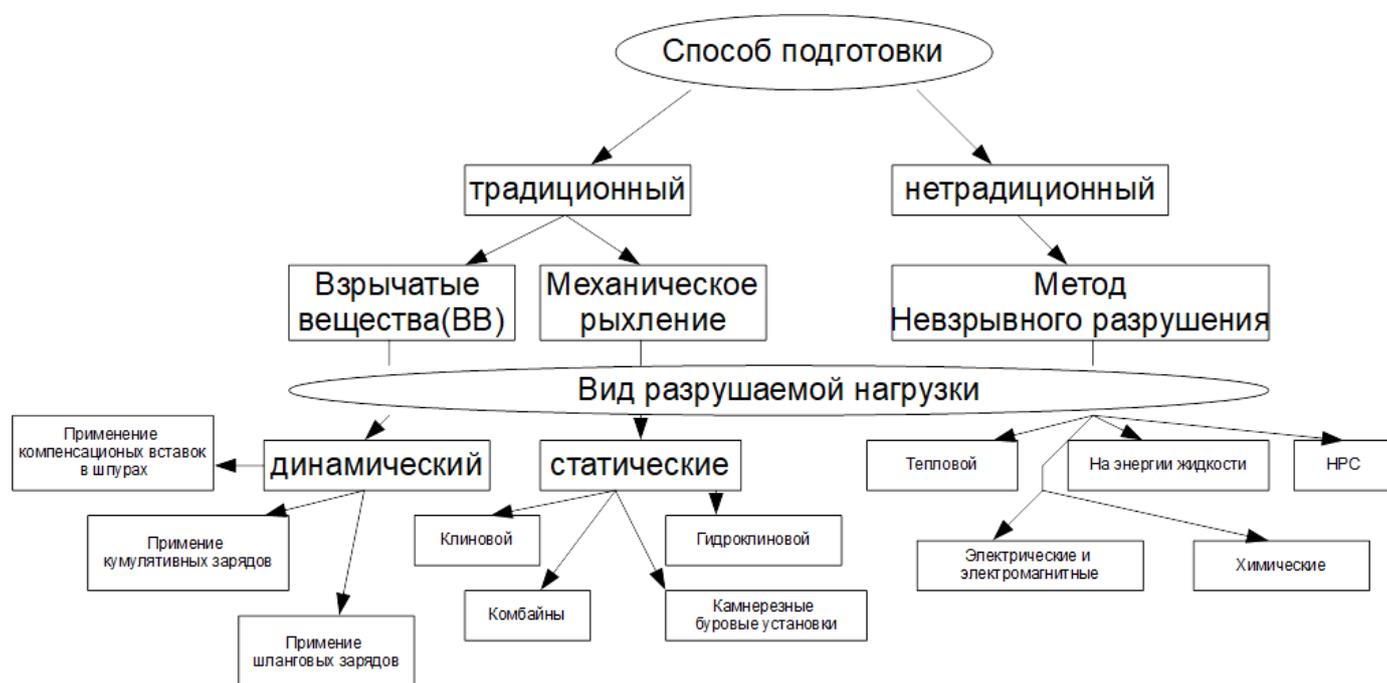


Рисунок 2.6 – Схема систематизации способов подготовки блочного камня к выемке в зависимости от вида разрушаемой нагрузки

Для добычи мраморного щебня и производства из него микрокальцита на месторождениях мрамора высокой степени белизны к технологии подготовки его к выемке предъявляются меньшие требования, чем при добыче блочного камня. Так, на качество полезного ископаемого в меньшей степени оказывает влияние трещиноватость массива горных пород и декоративность камня. Более того,

микрокальцит может производиться как из отходов производства блоков мрамора путем дополнительного дробления и измельчения мраморного окола, так и из целенаправленно добываемого сырья (щебня).

С учетом современной тенденции развития рынка блочного камня в стране, сегодня намечена тенденция переориентации карьеров по добыче мрамора с низким коэффициентом выхода товарных блоков на производство микрокальцита с целью увеличения экономической эффективности предприятия. В работе с учетом накопленного промышленного опыта по производству микрокальцита доказано, что сырьем для производства микрокальцита, может являться как блок, добываемый традиционным для карьеров природного камня оборудованием (баровыми и алмазно-канатными камнерезными машинами), так и щебень, с применением технологий, позволяющих обеспечить валовую выемку мрамора (буровзрывной способ отбойки породы, разработка месторождения с применением карьерного комбайна и тяжелых гидромолотов). Это обусловлено тем, что мрамор для производства микрокальцита в дальнейшем подвергается дроблению и измельчению с применением дробилок. Выход фракций зависит от требований заказчика.

БВР является основным и традиционным способом валовой добычи щебня различного фракционного состава. Качество взрывной подготовки характеризуется заданной степенью дробления, которая оценивается критериями кусковатости [12].

В качестве критерия кусковатости в работе приняты: выход негабарита и грансостав взорванной горной массы.

Показатель негабарита - процент выхода некондиционной горной массы относительно ее общего объема. Является достаточно надежным и точным критерием оценки качества взрывного дробления в пределах одних и тех же геотехнологических процессах.

Размер кондиционного куска (величина d_n) определяется видом и мощностью горнотранспортного оборудования, применяемого во всей технологической цепочке горного производства [113,130]:

1) по емкости ковша экскаватора:

$$d_H \leq 0,75 \cdot \sqrt[3]{E}, \text{ м}, \quad (2.12)$$

где E - емкость ковша экскаватора, м³;

2) для кузовов вагонов и автосамосвалов во избежание разрушающих нагрузок ориентировочно:

$$d_H \leq 0,5 \cdot \sqrt[3]{V}, \text{ м}, \quad (2.13)$$

где V - объем кузова, м³;

3) при погрузке породы в перегрузочные бункера, приемные воронки дробилок, грохотов и т.п.

$$d_H \leq (0,75 \div 0,85) \cdot b, \text{ м}, \quad (2.14)$$

где b - длина меньшей стороны приемного отверстия бункера или дробильной установки;

4) при погрузке на конвейер:

$$d_H \leq 0,5 B + 0,1, \text{ м}, \quad (2.15)$$

где B - ширина ленты конвейера, м.

Оптимальный размер куска взорванной горной массы для двух технологических процессов (погрузка и транспортирование) можно определить по зависимости [40]:

$$d_H = (0,15 \div 0,20) \sqrt[3]{E}, \text{ м}. \quad (2.16)$$

Поскольку максимальная ценность щебня характерна для фракции 20-200 мм оценка качества взрывного дробления по процентному выходу негабарита не обеспечивает полную оценку качества, то есть достижения заданной степени дробления. Поэтому, выход негабарита это критерий оценки технологичности буровзрывных работ, а не критерий оценки качества взрывного дробления, особенно в условиях разработки месторождений белого мрамора для производства микрокальцита высокой степени белизны.

В диссертации на основе выполненных массовых взрывов в промышленных условиях Еленинского месторождения мрамора и анализа качества взорванной горной массы методом фотопланометрии установлено, что логарифмическая дисперсия распределения грансостава остается постоянной до и после взрыва и

является инвариантной характеристикой кусковатости горных пород, при этом изменяется только средний размер куска [99,119].

Средний (медианный) диаметр или размер куска являлся результатом расчета, по которому объем развала горной массы можно разделить на две равные части: объем частиц мельче расчетного (d_{50}) составляет 50 % всей массы развала, так же, как и объем кусков крупнее среднего.

В практике взрывного дела широко используется логарифмически нормальный закон распределения оценки кусковатости взорванной горной массы, характеризующийся двумя параметрами – μ и σ [24,99].

Параметр μ определяется энергетическими и детонационными параметрами взрывного нагружения (тип взрывчатого вещества) и представляет собой натуральный логарифм среднего медианного размера куска d_{50} . Параметр σ остается постоянным по мнению ряда авторов до и после взрыва и зависит от структурных особенностей горных пород, слагающих массив.

В работе за основу расчетов принят параметр $\sigma = 0,850$ – увеличенный на 15% относительно принятого по результатам двух массовых взрывов (1 взрыв - 24.06.21 и 2 взрыв - 15.07.21) на Еленинском месторождении мрамора ООО «РИФ-Микромрамор» с диаметрами скважин соответственно $\varnothing 170$ мм и $\varnothing 227$ мм.

В работе при расчете кусковатости для двух вариантов параметров БВР приняты следующие допущения: $l_{cp} = 0,6$; m ; $\sigma = 0,850$ (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Расчет грансостава для двух вариантов параметров буровзрывных работ и среднего размера структурного блока в массиве ($l_{cp} = 0,6$ м) при $\sigma = 0,850$

Параметры БВР				σ	$l_{cp}, \text{ м}$	$d_{cp},$ медиана (м)	μ	количество кусков с крупностью, %		
Вариант	Средняя высота, H_y	d_c	q					>0,8	>1,0	>1,2
I	10	170	0,75	0,85	0,6	0,170	3,21887	8,6	4,6	2,4
II	10	227	0,7	0,85	0,6	0,227	3,29583	10,1	6,2	3,2

На основе теоретических кривых распределения для параметров буровзрывных работ с диаметрами скважин 170 и 227 мм получены гистограммы гранулометрического состава мрамора ($f=9$) в развале (рисунок 2.7 и 2.8).

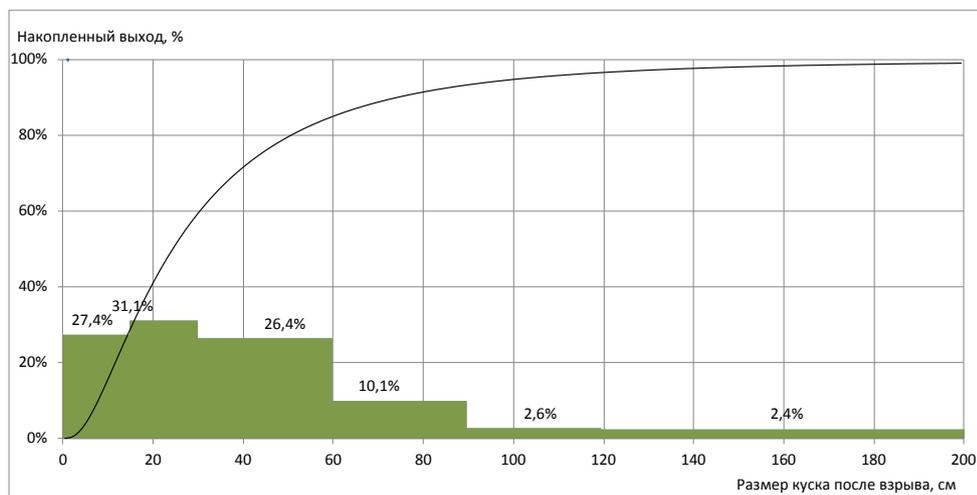


Рисунок 2.7- Распределение гранулометрического состава при диаметре скважин 170 мм

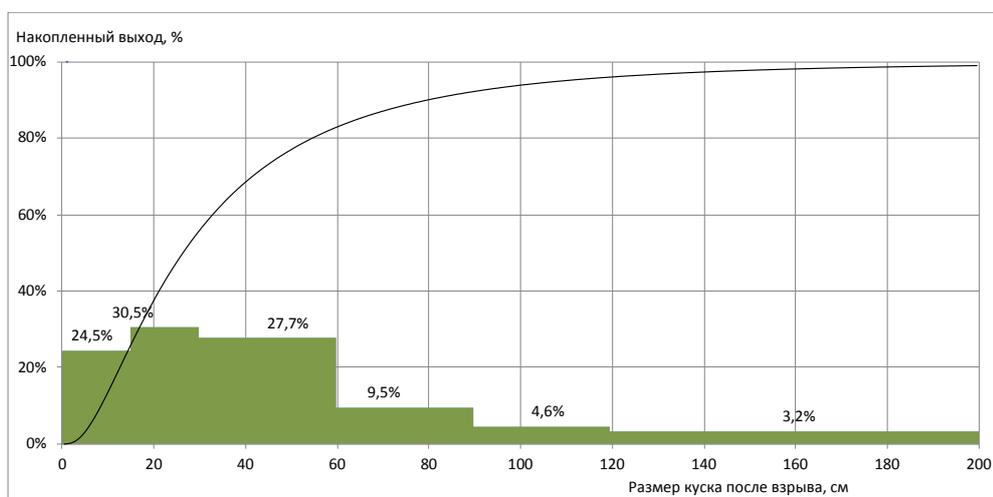


Рисунок 2.8 Распределение гранулометрического состава при диаметре скважин 227 мм

В результате анализа грансостава установлено, что при взрывании скважин диаметром 170 и 227 мм расчётное количество кусков фракций 0-20 мм составляет от 24%, 20-90 мм – от 26 до 57%, 90-200 мм – до 19%. То есть, фактически четверть объема блока непригодна для производства микрокальцита.

Следует отметить, что в условиях разработки месторождений белых мраморов буровзрывные работы имеют ряд недостатков, к которым в первую очередь следует отнести негативное воздействие взрывных работ на прилегающий горный массив, здания, сооружения, а также на окружающую среду, выражающееся в высоком сейсмическом воздействии, повышенном пыле- и

газовыделении, значительном разлете кусков горных пород. При отработке контактных зон эффективность и производительность БВР при разработке месторождений мрамора высокой степени белизны снижается за счет увеличения потерь в результате засорения.

Одним из направлений совершенствования технологии добычи мраморного щебня является увеличение масштабов использования в карьерах современных горных машин, способных высокопроизводительно и безопасно разрабатывать массивы горных пород. Данные машины обеспечивают совмещение таких технологических процессов, как подготовка пород к выемке (механическое рыхление массива) и погрузка горной массы. Мировая и отечественная практика показывает, что горные комбайны Wirtgen Surface Miner надежно сочетают эти операции при выемке горных пород прочностью до 120 МПа [90-92]. Так, согласно обобщению опыта использования безвзрывной технологии с использованием горных комбайнов Surface Miner на ряде карьеров цементных заводов России в период 2007-2018 годов (рисунок 2.9), в работе систематизированы основные их преимущества:

1. В забое может быть обеспечен фракционный состав менее 50 мм на 85-90%. При этом максимальный размер куска составлял до 250 мм, что позволяет отказаться от затрат на строительство отделения среднего и крупного дробления.

2. Отказ от традиционных технологических процессов (буровзрывное рыхление, среднее и крупное дробление) приводит к снижению эксплуатационных расходов, упрощается процесс планирования горных работ;

3. Способность безвзрывной разработки массивов горных пород позволяет комбайнам Wirtgen Surface Miner в районах плотной застройки, где имеются ограничения на ведение горных работ с применением БВР, вести их со 100% безопасностью.

В работе также рассмотрен такой вариант безвзрывной подготовки, механического рыхления горной массы как применение тяжелого гидромолота.

Опыт применения тяжелых гидромолотов отмечается в работах авторов [90-92,103], а также в условиях работы ООО «УК ТЭК машины» [68]. Тяжелые

гидромолоты использованы при подготовке горных пород к выемке на месторождении известняка в карьере ООО «Восточные Берники» (рисунок 2.10) и графита на ООО «Тайгинский ГОК».

Эффективность применения гидромолота тяжелого класса при разработке месторождений мрамора обеспечивается за счет снижения эксплуатационных затрат на подготовку к выемке и за счет снижения потерь при работе в приконтактной зоне [68,103].



а)



б)

Рисунок 2.9 – Безвзрывная технологии горных работ с применением комбайнов Surface Miner фирмы Wirtgen GmbH:

а) известняк (ООО «Восточные Берники») б) белый мрамор (Кюелгинское месторождение)



Рисунок 2.10 - Подготовка известняка к выемке с помощью тяжелого гидромолота фирмы «Volvo» на карьере ООО «Восточные Берники»

Таким образом, рассмотренные в работе традиционные технологии разботки месторождений мрамора были систематизированы по условию обеспечения высокой ценности товарной продукции. Также рассмотрены условия их реализации на одном участке недр (таблица 2.4).

Суммарная стоимость товарной продукции, получаемая из мраморного сырья добываемого в пределах осваиваемого участка недр зависит от соотношения сортности блочного камня и фракционного состава щебня. Горно-геологические условия и применяемые технологии определяют долевое распределение кондиционного сырья.

С целью обеспечения максимальной суммарной стоимости готовой продукции, получаемой при переработке мрамора необходимо провести исследования методов оценки повышения его качества.

Таблица 2.4 –Классификация технологий добычи мрамора высокой степени белизны в пределах осваиваемого участка недр

Товарная продукция	Традиционная технология	Доля применения технологии на месторождениях мрамора высокой степени белизны, %	Условия реализации технологии	Комбинации традиционных технологий на одном зонированном участке месторождения (условия реализации технологии)	Комбинации традиционных технологий в пределах одного месторождения (условия реализации технологии)	Условия реализации комбинированных технологий
Блок	АКМ	15	Наличие кварцевых включений	-	1. Ф+АКМ (АКМ+БМ); 2. БВР+Ф+АКМ (АКМ+БМ); 3. Б+БВР+АКМ (АКМ+БМ);	1. $T_{стр} \uparrow; Q_{пи} \downarrow; K_{тр} \downarrow; Б \uparrow$ (изменение товарной продукции по глубине) 2. $T_{стр} \downarrow; Q_{пи} \uparrow; K_{тр} \downarrow; Б \uparrow$ (изменение товарной продукции по глубине) 3. $T_{стр} \downarrow; Q_{пи} \uparrow; K_{тр} \uparrow; Б \uparrow$ (изменение товарной продукции по площади)
	БМ	5	Высокая степень трещиноватости			
	БМ+АКМ	80	Низкая степень трещиноватости и отсутствие включений кварца			
Щебень (микрокальцит)	БВР	80	Низкие требования к качеству продукции (низкая степень белизны); коэффициент крепости 6-11	БВР-Б БВР-Ф (Высокие требования к качеству продукции (средняя и высокая степень белизны); снижение выхода фракций 0-20 мм; коэффициент крепости 6-11)	4. Б+АКМ(АКМ+БМ); 5. БВР+АКМ (АКМ+БМ); 6. Б+Ф+АКМ (АКМ+БМ); 7. . БВР+Ф+Б+АКМ (АКМ+БМ);	4. $T_{стр} \uparrow; Q_{пи} \downarrow; K_{тр} \downarrow; Б \uparrow$ (изменение товарной продукции по глубине) 5. $T_{стр} \downarrow; Q_{пи} \uparrow; K_{тр} \uparrow; Б \downarrow$ (изменение товарной продукции по площади и глубине) 6. $T_{стр} \uparrow; Q_{пи} \downarrow; K_{тр} \downarrow; Б \uparrow$ (изменение товарной продукции по площади и глубине) 7. $T_{стр} \downarrow; Q_{пи} \uparrow; K_{тр} \downarrow; Б \uparrow$ (изменение товарной продукции по площади и глубине)
	Ф	10	Высокие требования к качеству продукции (высокая степень белизны); коэффициент крепости 6-11			
	Б	10	Высокие требования к качеству продукции (высокая степень белизны); коэффициент крепости 6-11			

Примечание: АКМ – технология с применением алмазно-канатных машин; БМ – технология с применением баровых машин; БВР – технология с применением буровзрывных работ; Ф – технология с применением фрезерных комбайнов; Б – технология с применением гидромолотов тяжелого класса; $T_{стр}$ – срок строительства карьера; $Q_{пи}$ - производительность карьера по полезному ископаемому; $K_{тр}$ - коэффициент трещиноватости; Б- степень белизны.

2.3. Исследование способов увеличения суммарной стоимости продукции на месторождениях мрамора

Определение вида товарной продукции (блок или щебень) и как следствие технологии освоения месторождения мрамора высокой степени белизны на стадии проектирования или на действующем карьере блочного камня предлагается на основе ценности добываемого сырья.

В случае, когда конечной продукцией карьера является блок, который служит сырьем или полуфабрикатом для получения в дальнейшем изделий из него [107], ценность (C_i , руб.) полученного блочного сырья i -го вида определяется объемом монолита (V_M), долей (D_i) объема этого вида сырья в общем объеме монолита и стоимостью (C_i) единицы данного вида сырья.

$$C_i = V_M \cdot D_i \cdot C_i = \left(\sum_{k=0}^k V_i \right) C_i, \quad (2.17)$$

где $\sum_{k=0}^k V_i$ - общий объем i -го вида сырья в объеме монолита, m^3 ;

k – число блоков данного вида в объеме монолита;

V_i – объемы блока данного вида, m^3 .

Общая ценность ($C_{\text{общ}}$) получающегося из монолита сырья разных видов ($i=1,2,3,4$ соответственно блоки I, II, III групп и ТУ; $i=5$ – окол; $i=6$ – щебень; $i=7$ – глыбы) выражается соотношением:

$$C_{\text{блок}}^{\text{общ}} = V_M \sum_{i=1}^m (D_i \cdot C_i), \quad (2.18)$$

при этом

$$\sum_{i=1}^m D_i \leq 1, \quad (2.19)$$

$$1 - \sum_{i=1}^m D_i = \Pi, \quad (2.20)$$

где Π – потери после выделения из блока всех видов сырья.

Оценка долевого количества (D_i) каждого вида сырья осуществляется на основе предложенной модели (рисунок 2.11), учитывающей расположение трещин в объеме монолита.

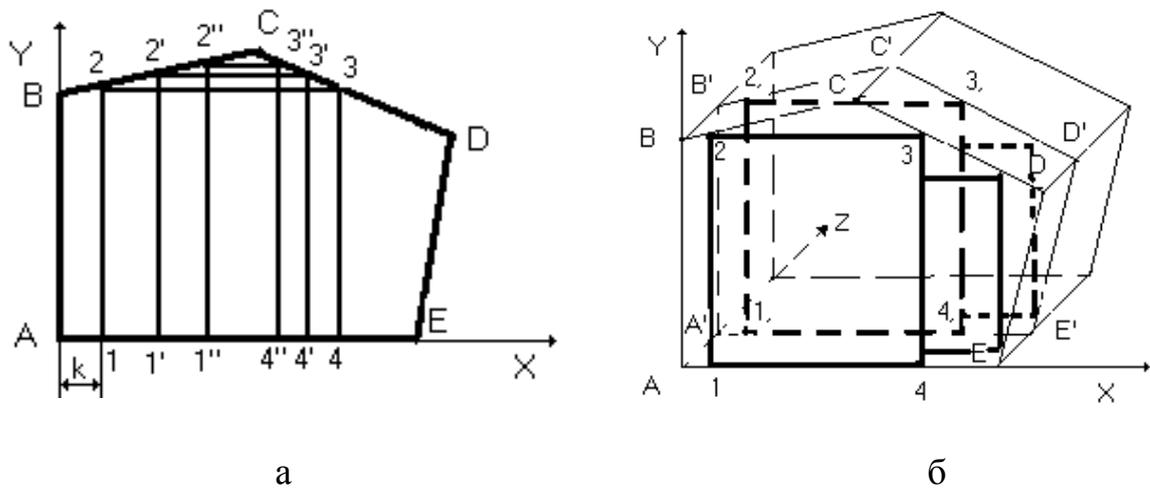


Рисунок 2.11 - Схема определения максимального объема товарного блока из сформированной трещинами отдельности:
 а) исследуемое сечение ABCDE со вписанными прямоугольниками;
 б) вписывание параллелепипедов максимального объема в исследуемую отдельность

Определение максимальных объемов (рисунок 2.3.1) товарных блоков из сформированных трещинами отдельностей любой формы сводится к следующему алгоритму:

1. Выбирается одна из сторон многогранника – отдельности (в данном примере плоскость ABCDE).
2. С осью X совмещается одна из граней, размер которой превышает установленный минимум (например, AE).
3. Перпендикулярно оси X с заданным шагом k из точек 1, 1^I, 1^{II} и так далее выстраиваются линии.
4. Находятся точки 2, 2^I, 2^{II} пересечения линии с гранью BC многоугольника.
5. Из полученных точек 2, 2^I, 2^{II} проводятся параллельные оси X линии до пересечения с соседней гранью (если грань BC или CD параллельна оси X прямые проводятся в одном направлении).

6. Полученные точки ($3, 3^I, 3^{II}$) проецируются на ось X. В итоге, если перпендикуляры пересекают ось X, получается система прямоугольников 1, 2, 3, 4; $1^I, 2^I, 3^I, 4^I$; $1^{II}, 2^{II}, 3^{II}, 4^{II}$ и т.д.

7. Проведением (с заданным шагом k вдоль оси Z) плоскостей, параллельных ABCDE, получаются сечения $A^I B^I C^I D^I E^I$, $A^{II} B^{II} C^{II} D^{II} E^{II}$ и т.д., в каждом из которых повторяются операции, аналогичные выполненным (п 2-6) для первого из сечений ABCDE.

8. Для построенных сечений ABCDE и $A^I B^I C^I D^I E^I$ и т.д. из образованных прямоугольников подбираются примерно совпадающие по координатам точек 1, 2, 3, 4 и $1/, 2/, 3/, 4/$ по X и Y.

9. Находится объем параллелепипеда, образуемого точками 1, 2, 3, 4 и $1_I, 2_I, 3_I, 4_I$.

10. В объеме многоугольника, не занятом выбранными параллелепипедами вновь проводятся построения и расчеты (п.п. 1-9).

11. Находится общий объем вписанных в исследуемую отдельность параллелепипедов.

12. Проводится построение и расчет по пунктам 2-11 по всем граням исследуемого многоугольника.

13. Расчет по пунктам 1-12 проводится для всех сторон многогранника и выбирается максимальный объем вписанных параллелепипедов.

Теоретический коэффициент выхода блоков составляет:

$$K_{vi} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m v}{V_M} \right), \quad (2.21)$$

где K_{vi} - доля блоков данной группы блочности в общем объеме монолита (K_{v1} – блоки I группы, K_{v2} – блоки I-II групп, K_{v3} – блоки I-III групп);

V и V_M – минимальные объемы товарного блока и отделяемого монолита;

m – количество вписанных параллелепипедов.

Согласно ГОСТ 9479-98 «Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных мемориальных и других изделий» [31] в таблице 2.5 представлены основные параметры и размеры блоков.

Таблица 2.5 - Основные параметры и размеры блоков

Наименование показателя	Группа блока			
	I	II	III	IV
Объем блока, м ³	Св. 5,0	Св. 3,0 до 5,0 включ.	Св. 0,7 до 3,0 включ.	Св. 0,1 до 0,7 включ.
Примечание – в размерных параметрах блока длиной считают максимальный горизонтальный размер (для блоков с выраженной природной слоистостью длина должна быть ориентирована вдоль направления слоистости), шириной – меньший горизонтальный размер; высотой – меньший вертикальный размер.				

Исследованиями доктора технических наук Ю.Г. Карасева [55] установлено, что с увеличением объема блока возрастает коэффициент использования камнеобрабатывающего оборудования. Для условий: Коелгинского, Полоцкого, Редутовского месторождений данные зависимости выглядят следующим образом (рисунок 2.12).

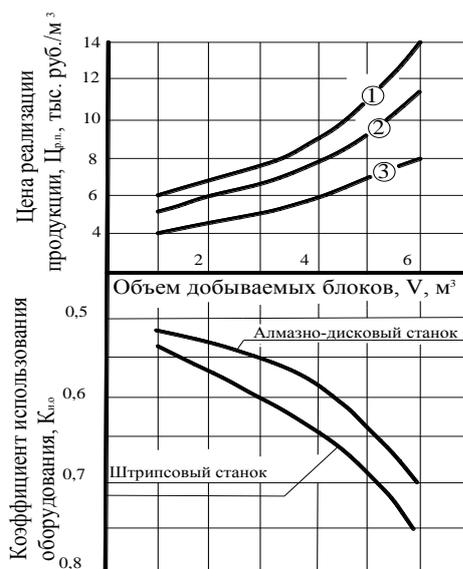


Рисунок 2.12 - Изменение стоимости продукции и коэффициента использования камнеобрабатывающего оборудования в зависимости от объема добываемых блоков месторождений:
1 – Коелгинского;
2 – Полоцкого;
3 – Редутовского

При пилении блоков объемом свыше 3 м³ в 1,5 раза возрастает удельный выход плит-заготовок по сравнению с блоками меньших объемов.

С увеличением объема добываемого блока повышается цена его реализации, а также эффективность распиловки на современных камнеобрабатывающих линиях.

Объемы добываемых блоков зависят от высоты уступа и ограничиваются затратами на отделение монолита от массива.

В случае, когда готовой продукцией карьера, является щебень высокой степени белизны пригодный для производства микрокальцита (таблица 2.2), ценность мраморного щебня, определяется степенью белизны, которая напрямую

зависит от фракционного состава раздробленной горной массы поступающей на дробильно-сортировочную установку.

Ценность (C_j , руб.) щебня j -й фракции определяется объемом взорванной горной массы ($V_{ГМ}$), долей (D_j) объема j -го фракционного состава в общем объеме горной массы и стоимостью ($Ц_j$) единицы данной фракции.

$$C_j = V_{ГМ} \cdot D_j \cdot Ц_j = \left(\sum_{j=1}^n V_j \right) Ц_j, \quad (2.22)$$

где $\sum_{j=1}^n V_j$ - общий объем j -го вида фракции в объеме горной массы, m^3 ;

n – число фракций в объеме горной массы;

V_j – объем j -ой фракции, m^3 .

Общая ценность ($C_{общ}$) щебня разных видов фракций, полученного из раздробленного массива, выражается соотношением:

$$C_{общ} = V_{м} \sum_{j=1}^n (D_j \cdot Ц_j), \quad (2.23)$$

при этом

$$\sum_{j=1}^n D_j \leq 1, \quad (2.23)$$

$$1 - \sum_{j=1}^n D_j = \Pi, \quad (2.24)$$

где Π – потери, первичный отсев (грязевые фракции), 0 – 20 мм.

В случае, комплексного освоения месторождения мрамора высокой степени белизны, когда готовой продукцией карьера, является блочный камень, некондиционное сырье для производства микрокальцита (таблица 2.2), ценность товарной продукции, определяется интегрированием сортов блока и фракционностью мраморного щебня, поступающей на дробильно-сортировочную установку:

$$C_{компл} = V_{м} \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{\substack{n=i \\ m=j}} (D_i Ц_i + D_j Ц_j) \quad (2.25)$$

при этом

$$\left(\sum_{i=1}^m D_i + \sum_{j=1}^n D_j \right) \leq 1, \quad (2.26)$$

$$1 - \left(\sum_{i=1}^m D_i + \sum_{j=1}^n D_j \right) = \Pi, \quad (2.27)$$

где Π – потери после комплексного освоения всех видов сырья.

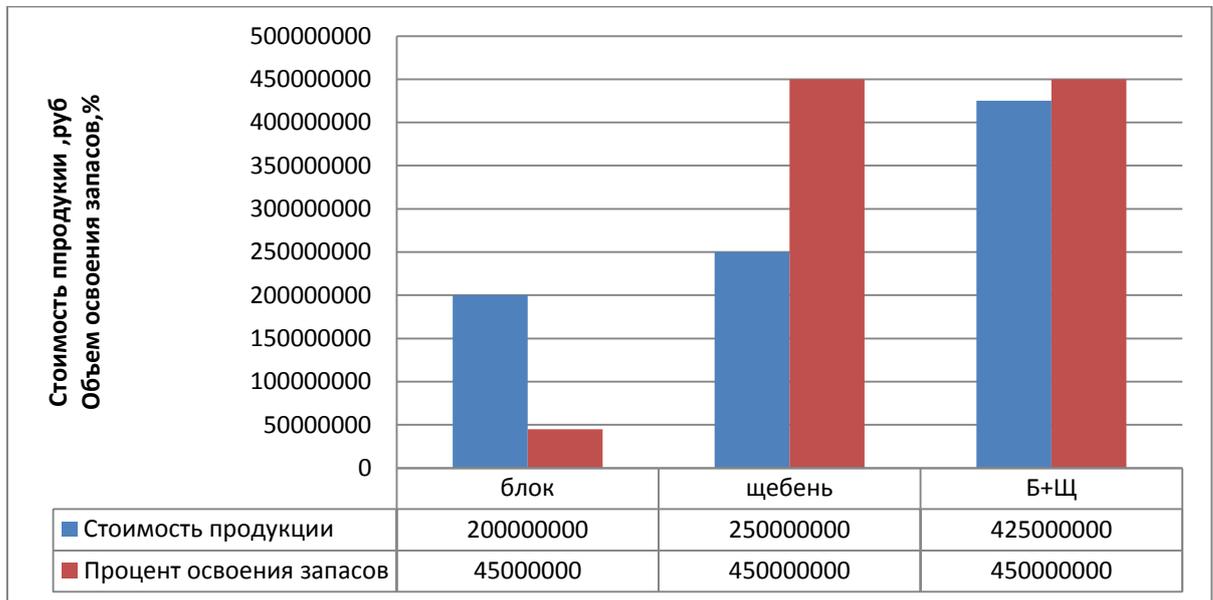


Рисунок 2.13 – Моделирование ценности товарной продукции и соотношение объема освоения запасов в зависимости от технологии отработки месторождения

Таким образом, ценность товарной продукции, получаемой из мраморного сырья добываемого в пределах осваиваемого участка недр зависит от соотношения сортности блочного камня и фракционного состава щебня. Горно-геологические условия и применяемые технологии определяют долевое распределение кондиционного сырья.

С целью определения участков блочного камня и мраморного щебня и обеспечения максимальной суммарной ценности готовой продукции, получаемой при переработке мрамора необходимо выполнить районирование месторождения белого мрамора по критериям качества товарной продукции.

2.4. Районирование месторождения белого мрамора по критерию качества товарной продукции

Определение товарной продукции в виде блочного камня и мраморного щебня и как следствие технологии освоения месторождения мрамора высокой степени белизны на стадии проектирования или на действующем карьере предлагается осуществлять на основе ценности добываемого сырья. Наибольшую ценность готовой продукции при переработки мраморного сырья имеет блочный камень с высокими декоративными свойствами и высокой степенью белизны, поэтому основным критерием при районировании карьерного поля является категория трещиноватости.

В работе под районированием понимается выделение участков в пределах карьерного поля с заданными характеристиками полезного ископаемого для производства товарной продукции в виде блоков и мраморного щебня. При этом выделение участков в пределах применения одной технологии в работе рассматривается как зона ведения добычных работ.

Так, наибольшей стоимостью товарной продукции обладают участки месторождений мрамора высокой степени белизны с категорией трещиноватости пород III-V, которые районированы на участки блочного камня с высокими декоративными свойствами. Породы категорий трещиноватости I-III, не пригодные для получения блочного камня, но обладающие высокой степенью белизны должны районироваться на участки для производства щебня, в том числе для микрокальцита.

Высокая ценность микрокальцита достигается переработкой щебня из мрамора со степенью белизны не менее 94 %, что технологически возможно обеспечить только исключением его засорения доломотизированными известняками (темные включения), ожелезненными мраморами (желтые включения) и иными включениями, что достигается предварительным зонированием данных участков для применения технологий комплексного

освоения запасов. Районирование участка недр (рисунок 2.13) осуществляется на основе блочной модели с использованием целевой функции.

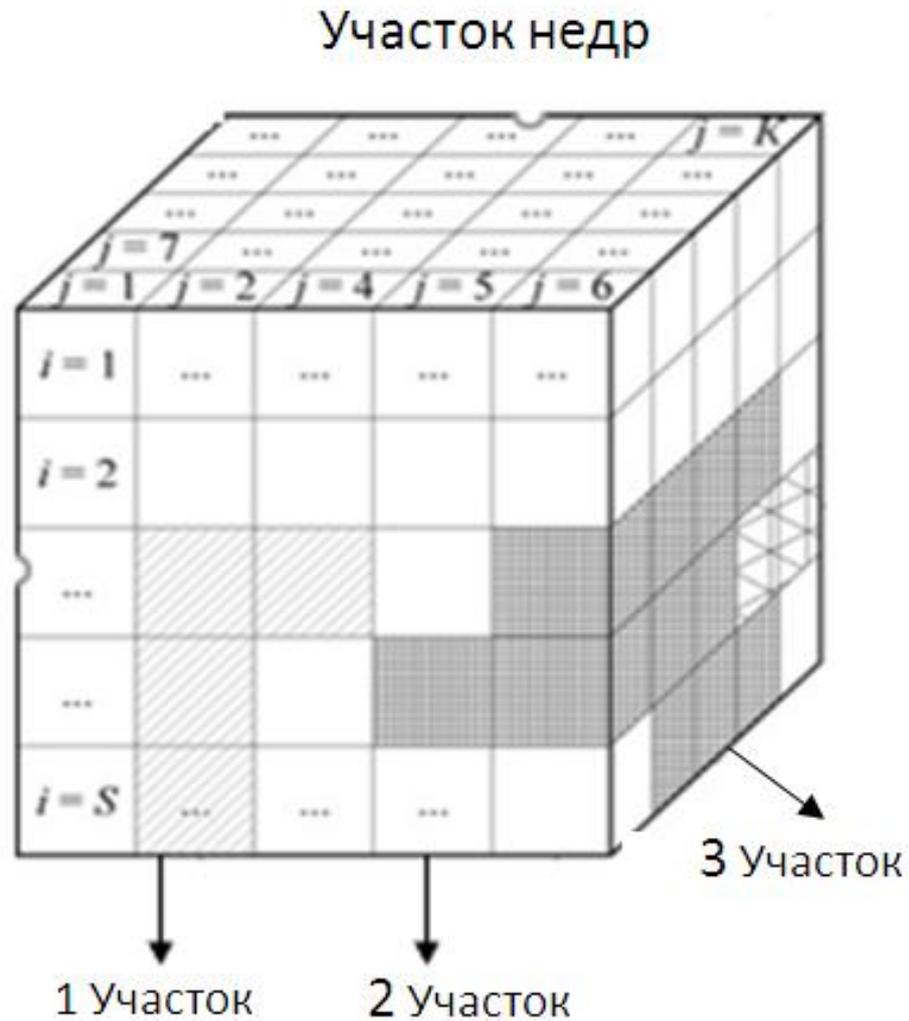


Рисунок 2.13 - Блочная модель районирование месторождения мрамора

- 1 участок блочного камня;
- 2 участок мраморного щебня;
- 3 участок комплексного освоения запасов недр.

Математическая запись предлагаемой модели с целевой функцией и системой ограничений имеет следующий вид:

$$\Pi_{\text{компл}} = f(\Phi M, K, T) \rightarrow \max \quad (2.28)$$

$$\begin{cases} \Phi M = f(\text{трещиноватость}, \text{крепость}); \\ K = f(\text{близна}, \text{железиста}, \text{потери}, \text{засорение}); \\ T = f(\text{БВР}, \text{АКМ}, \text{БМ}, \text{Б}, \Phi). \end{cases}$$

где $P_{ком}$ – прибыль при комплексном освоении зонированного участка недр;

ΦM – физико-механические свойства пород (трещиноватость, крепость), определяющие вид товарной продукции зонированного участка недр и технологию его освоения;

T – технология отработки зонированного участка недр, обеспечивающая высокую ценность товарной продукции;

K – критерии качества товарной продукции (степень белизны, желтизны, потери и засорение);

$БВР$ – технология подготовки горных пород к выемке с использованием буровзрывных работ;

$АКМ$ – технология добычи блочного камня с использованием алмазно-канатных машин;

$БМ$ – технология добычи блочного камня с использованием баровых машин;

$Б$ – технология добычи мраморного щебня с использованием гидромолота тяжелого класса (бутобой);

Φ – технология добычи мраморного щебня с использованием фрезерного комбайна.

В работе, на основе блочной модели Еленинской группы месторождений и целевой функции, осуществлено районирования участка недр при отработке месторождения мрамора высокой степени белизны определены параметры и характеристики участков по затратам принятых технологий подготовки к выемке и добычи согласно критериям качества (таблица 2.6).

Таблица 2.6 - Модель определения удельных затрат отработки зонированных участков при районировании месторождения и принятой технологии добычи мрамора

Участок недр	Параметры и характеристики участка по затратам	Потребитель
1 Участок блочного камня	<u>Параметры участка:</u> - объем полезного ископаемого; - объем вскрышных пород и включений (темных и желтых). <u>Затраты на:</u> - транспортировку горной массы; - на применяемую технологию.	-физико-механические свойства ПИ; - белизна; -желтизна; - сортность блоков; -качество фракционного щебня;
2 Участок мраморного щебня для производства микрокальцита		
3 Участок на контакте блочного камня и мраморного щебня;		
4. Участок на контакте мраморного щебня с темные и желтыми включениями;		

Процедура перехода выбора от одной технологии отработки зонированных участков месторождения к другой выполняется с учетом минимальных удельных затрат:

$$Z_y = (Z_{mp-m} + Z_{БВР} + Z_{АКМ} + Z_{БМ} + Z_{\phi} + Z_B) \rightarrow \min \quad (2.29)$$

где Z_{mp-m} – удельные затраты на транспортирование (логистика);

$Z_{БВР}$ – удельные затраты при технологии подготовки горных пород к выемке с использованием буровзрывных работ;

$Z_{АКМ}$ – удельные затраты при технологии добычи блочного камня с использованием алмазно-канатных машин;

$Z_{БМ}$ – удельные затраты при технологии добычи блочного камня с использованием баровых машин;

Z_{ϕ} – удельные затраты при технологии добычи мраморного щебня с использованием фрезерного комбайна;

Z_B – удельные затраты при технологии добычи мраморного щебня с использованием гидромолота тяжелого класса (бутобой).

Выводы по главе 2

1. Установлены зависимости коэффициентов потерь и засорения от сортности (степени белизны) мрамора. Анализ установленных зависимостей позволяет сделать вывод, что минимальные объемы разубоживания (коэффициент засорения $P_3 = 2,4-3,1\%$) для 1 сорта мрамора (высокая степень белизны) приводят к максимальным потерям (коэффициент потерь $\Pi = 13,1-19,7\%$). То есть увеличение коэффициента засорения на каждые 2% приводит к увеличению коэффициента потерь не менее, чем на 4%.

2. Разработана классификация технологий добычи блочного камня и фракционного щебня на месторождениях мрамора высокой степени белизны в пределах осваиваемого участка недр с учетом срока строительства карьера, производственной мощности предприятия и критериев качества по трещиноватости и степени белизны.

3. Показано, что полнота и комплексное освоение запасов месторождения мрамора достигается одновременной добычей блочного камня и фракционного щебня на одном участке недр. При этом определение добычных участков основывается на их районировании по критериям декоративности, степени трещиноватости и белизны.

4. Определено, что выбор вида товарной продукции (блок или щебень) на зонированном участке карьерного поля и как следствие технологии освоения данного участка месторождения мрамора высокой степени белизны на стадии проектирования или на действующем карьере осуществляется на основе ценности добываемого сырья.

5. Обоснованно, что выбор технологии на месторождениях мрамора при добыче блочного камня определяется степенью трещиноватости, декоративности и белизны. Установлено, что III категория трещиноватости ($l_{mp} = 0,5$ м) является граничным условием для разделения технологии добычи блочного камня или мраморного щебня.

3. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МРАМОРА

3.1. Обоснование безвзрывной технологии добычи мрамора в рамках одного участка недр

В настоящее время Уральский федеральный округ является ведущим в России регионом по добыче мраморного камня. Урал по объемам и гамме расцветок всегда был основным поставщиком товарных блоков для перерабатывающих заводов России. Три карьера по добыче мрамора (Коелга, Полоцк и Уфалей) поставляли более 60% мраморных блоков для переработки на заводы России [102]. В то же время разработка месторождений природного камня имеет на данный момент ряд особенностей:

- высокие издержки на вскрышные работы;
- продолжительный период строительства карьера;
- низкий коэффициент выхода блоков (20-35%);
- значительная часть добываемого мрамора уходит в отвал;
- значительная площадь, занимаемая отвалами;
- низкая комплексность освоения запасов месторождения природного камня
- высокая себестоимость готовой продукции.

Высокая себестоимость блоков мрамора и производной продукции из некондиций (мраморный щебень, микрокальцит и т.д.) снижает конкурентоспособность отечественного мрамора относительно зарубежного. Наряду с высокой стоимостью блоков мрамора, при добыче полезного ископаемого, и при его переработке происходит образование отходов значительных объемов.

Совершенствование технологии добычи мраморного щебня на ряду с традиционным буровзрывным способом, возможно благодаря применению безвзрывных технологий подготовки к выемке и погрузке горной массы, а также использование данных технологий при отработке контактных зон вредных (желтых и серых) включений.

Выбор безвзрывной технологии добычных работ, а также технологии при отработке контактных зон включений месторождений во многом зависит от качества добытого полезного ископаемого (сортность, желтизна и белизна) на карьере, которое определяют зонированные участки при районировании месторождения.

В параграфе 2.2 отмечено, что фрезерные комбайны Wirtgen Surfase Miner надежно сочетают операции по выемке полускальных и скальных пород прочностью до 120 МПа [90-92].

При отработке зонированных участков месторождения мрамора высокой степени белизны или месторождения в целом, где основным видом товарной продукции является блочный камень, технологии с применением комбайнов и гидромолотов тяжелого класса возможны лишь в комбинации с АКМ, БМ и БВР при отработке промежуточных слоев между сильнотрещиноватым массивом и толщиной мрамора, некондиционного сырья или на контактах с темными и желтыми включениями.

Применение комбайнов и гидромолотов тяжелого класса, как основного оборудования подготовки и добычи, возможно лишь при добычи мраморного щебня для производства микрокальцита.

В работе рассмотрено направление исследования безвзрывной технологии подготовки мрамора к выемке – механическое рыхление тяжелыми гидромолотами и выемка из массива фрезерными комбайнами.

Данные варианты совершенствования технологий добычи за счет применения фрезерных комбайнов и гидромолотов тяжелого класса были рассмотрены в работе на примере Еленинского месторождения мрамора.

Обоснование рациональной геотехнологии при отработке месторождений мрамора высокой степени белизны сводится к обеспечению минимума суммарных затрат на процессы подготовки горных пород к выемке и стадии дробления.

Оценка вариантов подготовки мрамора к выемке осуществлена на основе экономико-математического моделирования применения БВР и механического

разрушения по критериям получения максимальной прибыли горнодобывающего предприятия и достижения минимальной себестоимости готовой продукции [41,78,127]:

$$\Pi = Ц - \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \max \quad (3.1)$$

$$C = \frac{\sum C_i}{V} \rightarrow \min \quad (3.2)$$

где $Ц$ – стоимость объема реализованной готовой товарной продукции, руб.;

C_i – затраты на добычу при выполнении i -го технологического процесса, руб./м³;

V – объем реализованной готовой товарной продукции, м³.

Рассмотрены варианты безвзрывной подготовки и осуществлен выбор системы разработки по Н.В. Мельникову. На участке предусматривается применение транспортной системы разработки, включающей в себя цикличную четырехпроцессную технологию:

1 вариант:

- механическое рыхление горной массы и выемочно-погрузочные работы совмещены (фрезерный комбайн), в зоне контакта выемка осуществляется погрузчиком;

- транспортирование (автотранспорт);

- отвалообразование и складирование (внешнее бульдозерное).

2 вариант:

- механическое рыхление горной массы (тяжелый гидромолот);

- выемочно-погрузочные работы (экскаватор типа мехлопата);

- транспортирование (автотранспорт);

- отвалообразование и складирование (внешнее бульдозерное).

Техническая задача первого варианта заключается в увеличении производительности открытых горных работ по горной массе при обеспечении минимизации простоя горнотранспортного оборудования и снижения

разубоживания с целью повышения эффективности отработки месторождений белого мрамора.

Техническим результатом является повышение производительности карьера по горной массе путем создания принципиальной технологической схемы перемещения фрезерного комбайна в пределах рабочего горизонта и селективной выемки в контактных зонах вредных включений. Погрузка мраморного щебня со степенью белизны выше 94% производится по конвейерной ленте через разгрузочную консоль в автосамосвалы. Фрезерный комбайн отсыпает породы включений в породный навал, после чего они погрузчиком перегружаются в средства автотранспорта и транспортируются в отвал (рисунок 3.1).

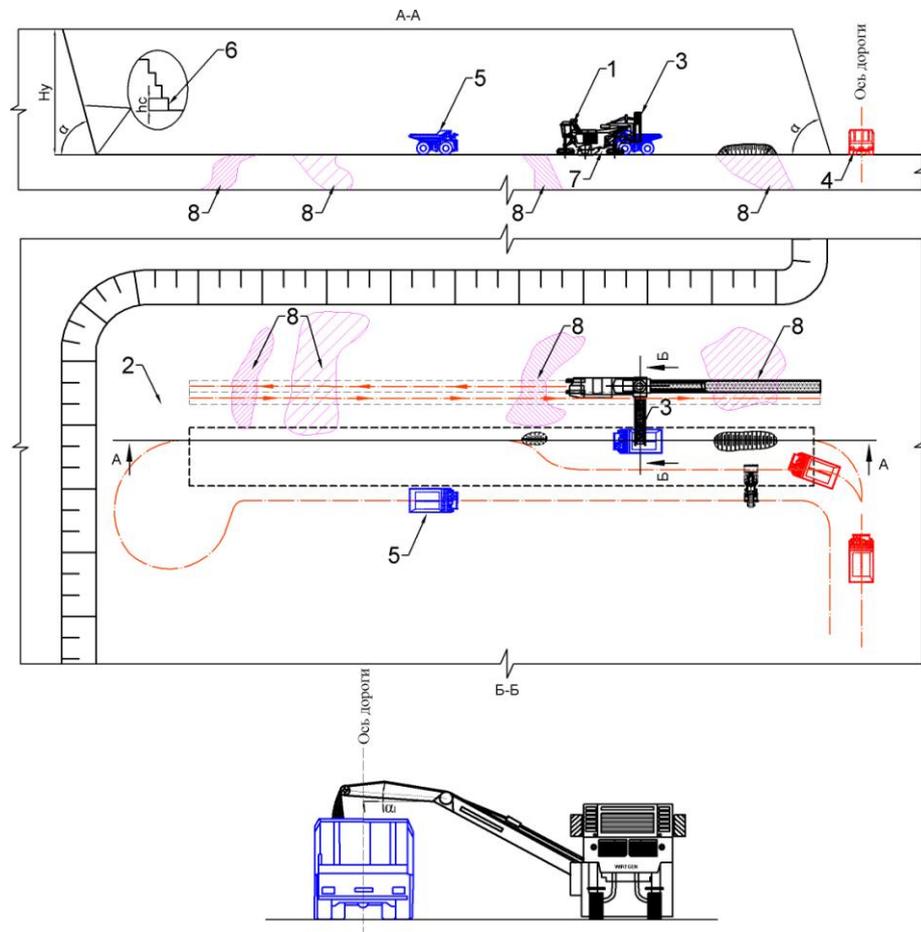


Рисунок 3.1 – Технологическая схема работы фрезерного комбайна в зоне контакта белого мрамора с вредными включениями

1 - фрезерный комбайн; 2 - рабочий горизонт; 3 - разгрузочная консоль; 4 - автосамосвал под погрузкой; 5 - грузеный автосамосвал; 6 - мощность слоя фрезерования; 7 - порожний автосамосвал, подготовленный к погрузке; 8 - вредные включения; 9 - ось направления перемещения фрезерного комбайна

Данная технологическая схема позволит минимизировать разубоживание и сократить эксплуатационные затраты горнодобывающих предприятий. Однако высокие капитальные затраты, невысокая производительность и обеспечение фронта большой протяженностью (более 150 м) ограничивает область применения фрезерных комбайнов на месторождения с небольшими размерами карьерного поля в плане.

Для повышения производительности карьера по добыче белого мраморного щебня с целью моделирования выбран второй вариант технической задачи, а именно применение гидромолота тяжелого класса. Технические характеристики гидромолотов, применяемых на карьерах России, представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Технические характеристики гидромолотов, применяемых на карьерах России

Модели гидромолотов	Масса экскаватора, т	Масса гидро-молота, кг	Энергия удара, Дж	Частота ударов в минуту	Длина инструмента, мм	Диаметр инструмента, мм	Производительность, тыс. м ³ /год
Малые							
Dongyang DYB-70	1,2-3	85	254	1200		45	87 000
«Гидромолот» НМ-100	2--8	150	400	600	300	52	105 000
«Традиция-К» Delta F-4	1-4	130	400	600-1200	250	49	102000
Dongyang DYB-300	4-7	264	620	500-800		68	108500
Steel Hand SHD 40	0,5-1,5	107	410	800-1230		40	93000
Komatsu JTHB65	7-8	820	1108	600-900	2106	112	115000
Средние							
«Традиция-К» Delta F-10	9-18	795	2443	450-800	565	140	178600
Komatsu JTHB100	14-20	1240	2217	930-1300	2489	110	198700
Indeco HP-1250	5..14	531	1250	570-1180		90	149800
Rammer 2577	10-19	870	1750	450-470		135	187500
Тяжелые							
Dongyang DHB-1400S	30-42	3020	12 110	250-400		160	415000
Indeco HP-5000	19-32	1973	5000	410-870		131	296000
Daemo S2500v		2200	7880	400		145	306000
Rammer 5011	34-55	870	9850	400-700		166	350000

Гидромолоты условно классифицируются по мощности (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Классификация гидромолотов по мощности (энергии удара) рабочего инструмента

Класс гидромолота	Энергия удара рабочего инструмента, Дж
1 Малые	от 400 до 1 500
2 Средние	1 500 до 3 500
3 Тяжелые	свыше 3 500

На основе систематизации по классам и технических характеристикам были определены и аппроксимированы зависимости изменения производительности гидромолота от ширины ленты откола (рисунок 3.2)

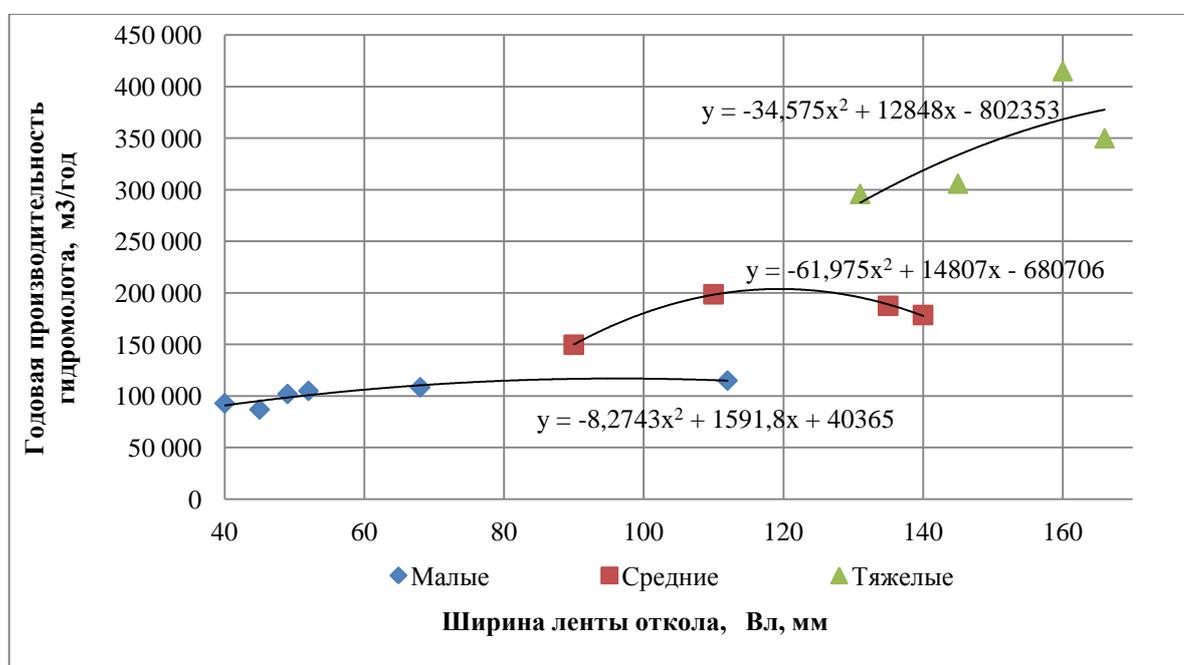


Рисунок 3.2 – Зависимости изменения производительности гидромолотов для различных классов от ширины ленты откола.

На основе полученных от ООО «УК ТЭК машины» данных по ведению подготовки горных пород к выемке тяжелым гидромолотом на месторождении известняка в карьере ООО «Восточные Берники» и графита на ООО «Тайгинский ГОК», было выполнено технико-экономическое моделирование (таблица 3.3 и 3.4) [41,23,120], по результатам которого принято решение осуществить опытные

испытания гидромолота для подготовки полезного ископаемого на Еленинском месторождении мрамора.

Таблица 3.3- Удельная стоимость работ при подготовке мрамора к выемке тяжелым гидромолотом

Наименование	%	тонн	Стоимость работ, руб./т (без НДС)	Затраты на гидромолот в год, руб. (без НДС)
Годовая производительность карьера по полезному ископаемому с учетом разубоживания	100	750 000,00	51	38 250 000,00
Отсев первичный (0-20 мм)	5%	37 500,00		
Выход товарной продукции		712 500,00		
Стоимость добычных работ в пересчете на одну тонну товарной продукции			53,68	

Таблица 3.4 - Потери полезного ископаемого и выход товарного продукта при подготовке к выемке гидромолотом

Наименование	%
Годовая производительность карьера по полезному ископаемому с учетом разубоживания	100%
Отсев первичный (0-20 мм)	5%
ДСУ	
Полезное ископаемое на дробление	100%
40-200 мм	70%
20-40 мм	18,5%
5-20 мм	7,5%
Вторичный отсев (0-5 мм)	4%

Технико-экономическое моделирование показало, что применение гидромолота тяжелого класса при разработке месторождений мрамора приводит к снижению эксплуатационных затрат на подготовку пород к выемке за счет снижения потерь. Так, для условий Еленинского месторождения увеличение выхода товарной продукции составило 16 %, в том числе по сортам.

В работе обоснованы принципиальные схемы эффективного применения гидромолота (рисунок 3.1 и 3.2).

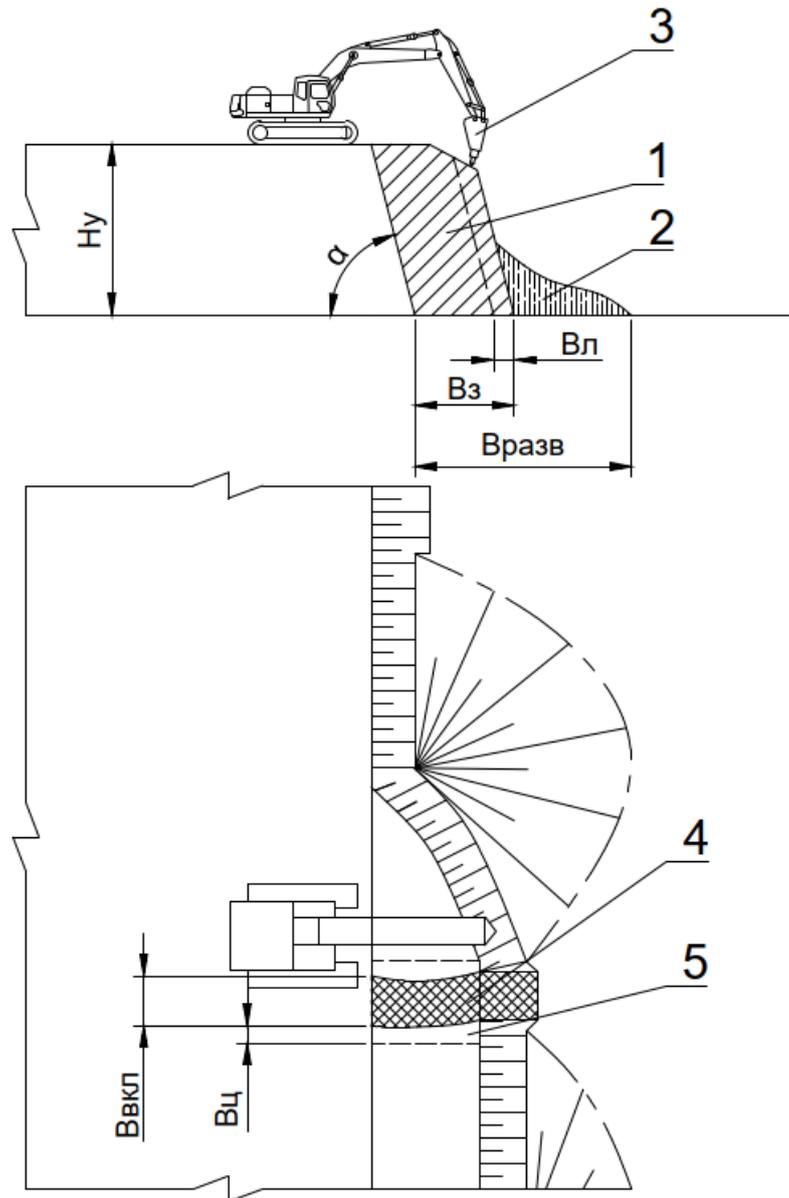


Рисунок 3.1 – Паспорт забоя с верхней постановкой тяжелого гидромолота в зоне контакта белого мрамора с включениями

1 – массив мрамора; 2 – развал раздробленной горной массы; 3 – гидромолот; 4 – зона включений серого (доломотизированного известняка) и желтого (ожелезненного мрамора); 5 – охранный целик

H_y – высота уступа, м; α – угол откоса уступа, град; B_3 – ширина заходки, м; B_l – ширина откалываемой ленты, м; $B_{разв}$ – ширина развала, м; $B_{вкл}$ – ширина зоны включения, м; $B_{ц}$ – ширина охранный целика, м

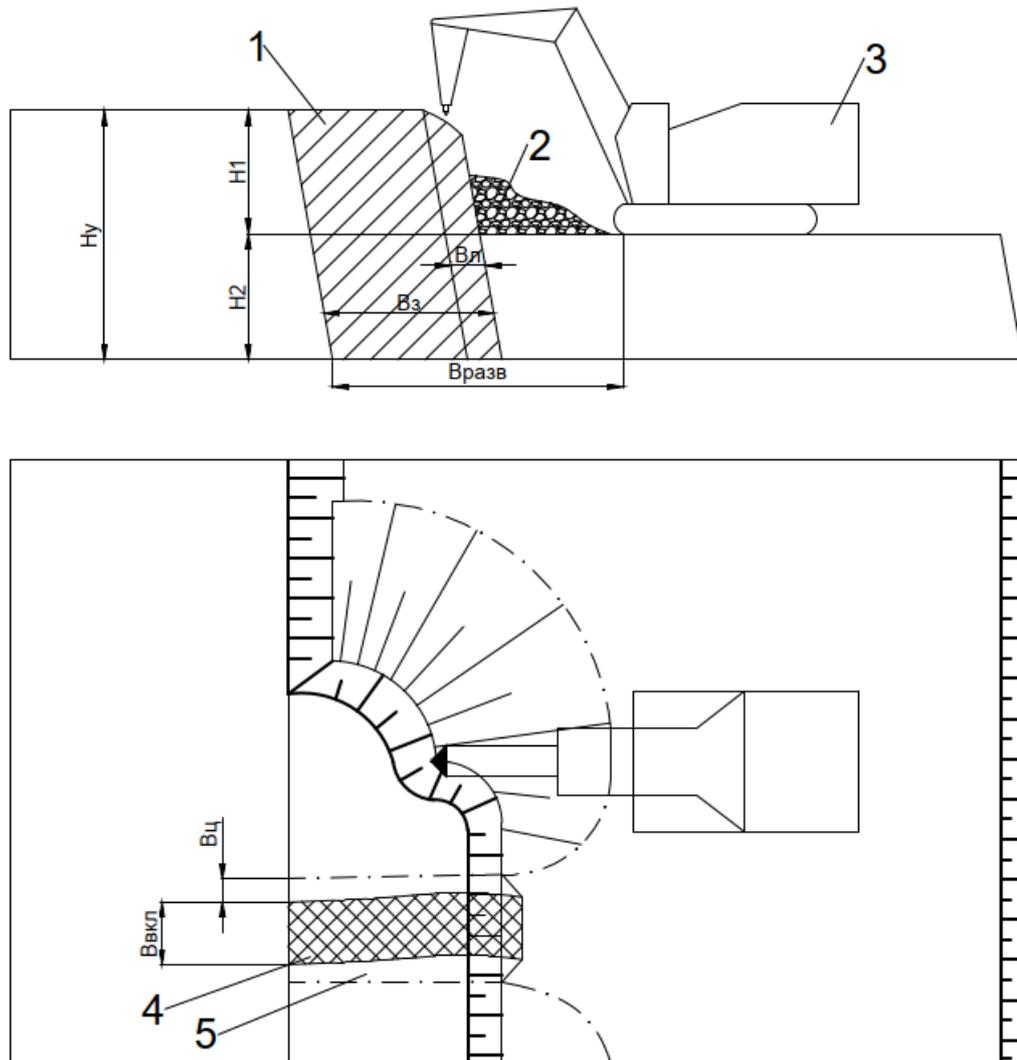


Рисунок 3.2 – Паспорт забоя с нижней постановкой тяжелого гидромолота в зоне контакта белого мрамора с включениями

1 – массив мрамора; 2 – развал раздробленной горной массы; 3 – гидромолот; 4 – зона включений серого (доломотизированного известняка) и желтого (ожелезненного мрамора); 5 – охранный целик

H_y – высота уступа, м; H_1 – высота верхнего подступа, м; H_2 – высота нижнего подступа, м; $B_з$ – ширина заходки, м; $B_л$ – ширина откалываемой ленты, м; $B_{разв}$ – ширина развала, м; $B_{вкл}$ – ширина зоны включения, м; $B_ц$ – ширина охранный целика, м

Для повышения выхода фракционного мраморного щебня с показателем белизны $\geq 94\%$ необходимо на контакте с зоной включений серого (доломотизированного известняка) и желтого (ожелезненного мрамора) оставлять

целик , шириной равной двум и более откалываемым лентам при работе тяжелого гидромолота :

$$B_{ц} \geq 2 B_{л} , \quad (3.3)$$

где $B_{ц}$ – ширина охранного целика, м;

$B_{л}$ – ширина откалываемой ленты, м

Последовательность отработки зоны контакта следующая:

1 . отрабатывается массива белого мрамора с обеих сторон зоны включения с оставлением целика;

2 . отрабатывается зона включений серого (доломотизированного известняка) и желтого (ожелезненного мрамора) с охранным целиком белого мрамора.

Для повышения производительности добычи мраморного щебня и удовлетворения требований к качеству раздробленной горной массы, а именно максимального выхода фракции 40-200 мм, необходимы исследования, направленные на оптимизацию параметров процесса буровзрывной подготовки горных пород к выемке.

3.2. Обоснование параметров буровзрывной подготовки при добыче мрамора высокой степени белизны

Современной тенденцией развития открытых горных работ при добыче мрамора высокой степени белизны является рост производственной мощности по полезному ископаемому [104, 129]. При этом со стороны потребителя повышаются требования к качеству готовой продукции. Эффективность отработки месторождений белого мрамора достигается возможностью обеспечить разделение разрабатываемых запасов при производстве высокодекоративного блочного камня и мраморного щебня по сортам, степени белизны и фракционному составу.

При добыче мраморного щебня одним из главных технологических процессов, обеспечивающих минимальные потери и разубоживание при максимальном выходе товарной продукции, является процесс подготовки горных пород к выемке с помощью буровзрывных работ [66, 128].

С целью обеспечения выполнения одновременно двух условий: повышенной производительности и соблюдению требований к качеству товарной продукции, предъявляемых потребителем в части гранулометрического состава, белизны, желтизны и других качественных характеристик, недропользователь вынужден искать технические решения обеспечивающие подготовку горной массы к выемке буровзрывным способом. Наиболее распространенным способом, направленным на повышение производительности и снижение себестоимости ведения горных работ является многорядное короткозамедленное взрывание [66, 67, 98, 128]. Следует отметить, что в условиях месторождений мрамора высокой степени белизны, обеспечение эффективности горнодобывающего предприятия достигается селективной выемкой на контакте полезной толщи с включениями доломитизированных известняков и иных прослоек. В данных условиях применение многорядного короткозамедленного взрывания приводит к переизмельчению и неконтролируемому перемешиванию полезного ископаемого с включениями, снижающими показатели качества и стоимость конечной продукции, а в некоторых случаях и к полной потере потребительских свойств. Примером такой готовой продукции, к которой предъявляются высокие

требования является мрамор Еленинской группы месторождений, используемый для получения высокоценного микрокальцита [38, 119].

Полезная толща Еленинского месторождения сложена мраморами различных цветов, которые однородны по физико-механическим свойствам.

Качественная оценка пород соответствует нормативным требованиям стандартов на исходные горные породы и продукты их переработки.

Согласно ТУ 08.12.12-001-21582590-2017 «Строительный щебень», основные параметры качества щебня Еленинского месторождения, определяющиеся технологическими и радиационными свойствами отражены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Основные параметры качества щебня Еленинского месторождения белого мрамора

Свойства	Наименование показателя	Значение показателя
Технологические	Марка камня по дробимости	200-600
	Содержание зерен слабых пород в камне, % по массе, не более	10
	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе, не более	3
	Марка камня по морозостойкости, не менее	F15-F25
Радиационно-гигиенические	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, I класс, Бк/кг, не более	370
Цвет	Яркость ($R_y, C/2^\circ$), не менее	90%
	Желтизна ($G, D65/10^\circ$), не более	5%

Переработка добытого полезного ископаемого осуществляется на дробильно-сортировочной установке, при этом потери в результате переизмельчения и засорения составляют 18%.

Результатом переработки на ДСУ является классификация щебня по фракциям: 40-200 мм – 52%; 20-40 мм – 28%; 5-20 мм – 6%; 0-5 мм – 14%.

Существующая схема подготовки пород к выемке при многорядном КЗВ приводит к неизбежным потерям полезного ископаемого в количестве 18% по

причине его переизмельчения. Годовой объем переработки обеспечивается увеличением производственной мощности карьера на величину технологических потерь.

В условиях Еленинского месторождения накоплен значительный опыт взрывных работ для рыхления полезного ископаемого многорядным короткозамедленным взрыванием с оптимальными по критерию максимальной производительности параметрами БВР: сетка скважин 3,0 м х 3,0 м, диаметр скважин $d_c=120$ мм и удельный расход взрывчатого вещества $q_{вв}=1,2$ кг/м³. При данных параметрах взрывных работ происходит перемешивание слоев горной массы, в результате чего засорение некондиционным камнем достигает 18%. Следует отметить, что даже при тщательной селективной выемке мрамора из забоя потеря кондиционного сырья снизить менее чем 12%, не удастся. Также образуется большое количество мелкого камня фракцией 0-20 мм до 20%, который при грохочении отсеивается в грязевой отсев - непригодный для дальнейшего применения при производстве микрокальцитов. Выход товарного щебня фракцией 40-200 мм составляет 52%, а наличие включений черного и желтого мрамора в щебне в общем объеме составляет 10%.

Управление качеством полезного ископаемого для снижения его засорения в практике обеспечивается применением механического способа подготовки и отделения породы от массива или применением щадящего взрывания зарядов взрывчатых веществ.

Однорядное взрывание в современных трендах роста производительности карьеров по горной массе не рассматривается в качестве способа повышения эффективности горнодобывающего предприятия в силу объективно сдерживающих недостатков и факторов. Однако данный способ имеет неоспоримое преимущество в условиях применения на месторождениях белого мрамора с зонами включений и с низкой стоимостью полезного ископаемого и возможностью организации фронта горных работ вытянутого в плане. Основным преимуществом однорядного взрывания в указанных условиях является возможность обеспечить селективную выемку и достичь высокое качество

подготовки пород к выемке по потребительским свойствам в соответствии с требованиями заказчика. При этом, обеспечение требуемого объема горной массы достигается подготовкой узких и протяженных в плане буровзрывных блоков, что, в свою очередь, в стесненных условиях позволяет уменьшить ширину рабочих площадок до минимальных размеров.

С целью повышения качества мрамора высокой степени белизны для условий Еленинского месторождения рассмотрена целесообразность применения однорядного взрывания с последующим проведением опытно-промышленных испытаний. Управление качеством подготовки горных пород к выемке при использовании однорядного взрывания достигается путем регулирования следующих параметров: сетки скважин, удельного расхода и конструкции заряда взрывчатых веществ [42, 43, 70].

В работе для обеспечения проектной производительности карьера по полезному ископаемому при соблюдении заданных требований к качеству продукции произведено обоснование параметров однорядного взрывания для вариантов, предусматривающих изменение значений сетки скважин и удельного расхода ВВ.

В первом варианте предусматривалось расширение сетки скважин в диапазоне величин от 3,5 м до 4,2 м. Во втором варианте - уменьшение удельного расхода в два раза. Третий вариант - комбинация двух предыдущих.

С целью подтверждения результатов моделирования были проведены опытно-промышленные испытания однорядного взрывания блоков в крест и вдоль простирания полезного ископаемого. Для этого разработаны паспорта БВР, представленные на рисунках 3.3 и 3.4. Согласно методике опытно-промышленных испытаний было взорвано 15 скважин в крест простирания и 30 скважин по простиранию полезного ископаемого с расстоянием между скважинами соответственно 3,5 м и 4,2 м. Диаметр скважин 105 мм, удельный расход 0,6 кг/м³.

Выкопировка с плана горных работ
для производства буровых работ по блоку № 29д гор+410.0м
карьер "ЕЛЕНА"

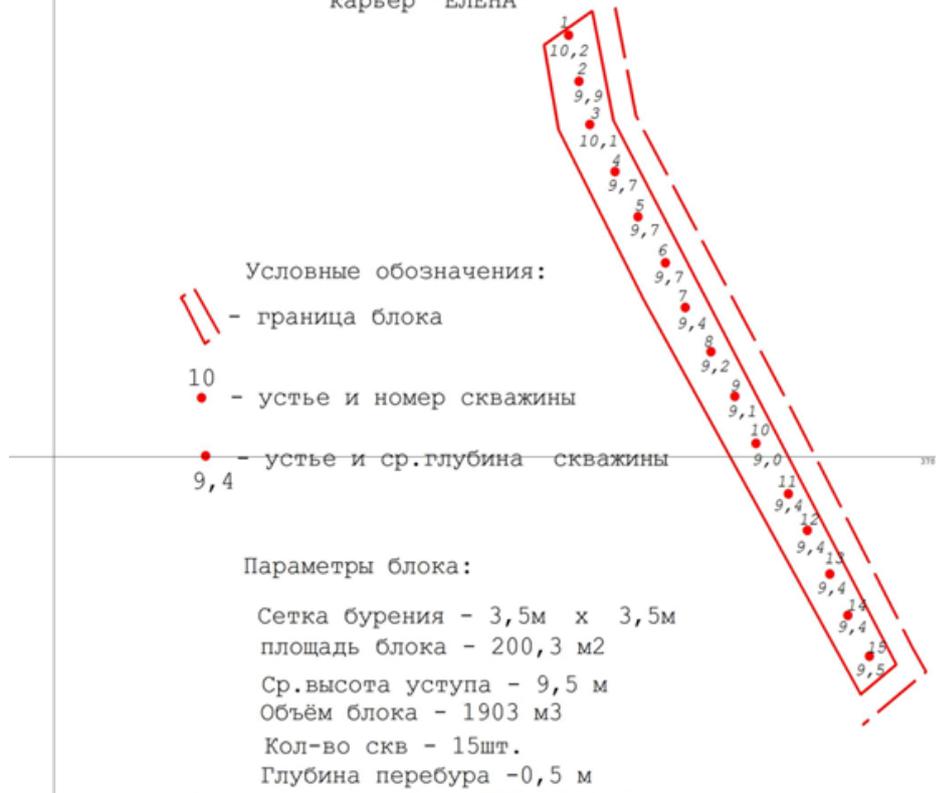


Рисунок 3.3 - Паспорт однорядного взывания в крест простирания мрамора

Выкопировка с плана горных работ
для производства буровых работ по блоку № 32д гор+400.0м
Карьер "ЕЛЕНА"

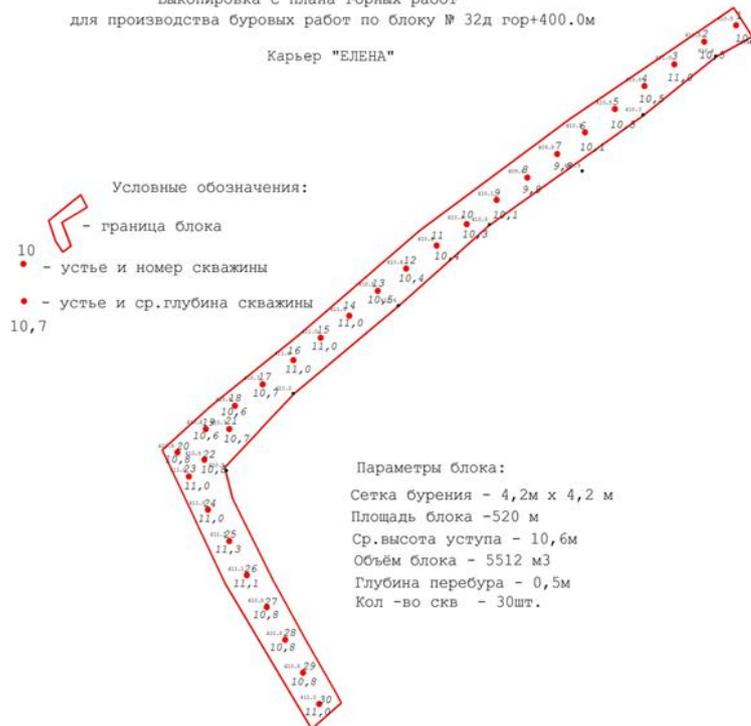


Рисунок 3.4 - Паспорт однорядного взывания по простиранию мрамора

Поскольку границы темно-серых (черных) и жёлтых (доломитизированных) слоев мрамора хорошо определяются визуально, расстояние от них до ближайшей скважины принято 1,5 м. Следует отметить, что в отличие от многорядного взрывания при однорядном с целью обеспечения требуемого объема горной массы необходимо подготавливать узкие и протяженные в плане буровзрывные блоки.

Произведенный взрыв с обоснованными параметрами однорядного взрывания, позволил обеспечить селективную выемку за счет оконтуривания полезного ископаемого на стадии подготовки горной массы к выемке и выборочного взрывания белого мрамора и включений.

В результате серии опытных взрывов получены следующие количественно-качественные показатели:

- разубоживание некондиционным сырьем – менее 9%;
- потеря кондиционной фракции при селективной отработке – 5%;
- образование мелкого камня фракцией 0-30 мм – менее 9%;
- выход габаритного куска камня фракцией 30-1500 мм – 86%;
- выход негабаритного куска камня фракцией более 1500 мм – 5%;
- выход товарного щебня фракцией 40-200 мм – 60%;
- включение черного и жёлтого камня в щебень – 4%.

Кроме того подтверждено, что при однорядном взрывании достигается минимальное перемешивание пород горной массы и увеличение крупности ее кусков.

С целью определения экономической целесообразности однорядного взрывания на основе результатов опытно-промышленных испытаний выполнено экономико-математическое моделирование применения буровзрывных работ по критериям достижения максимальной прибыли (Π) горнодобывающего предприятия и обеспечении минимальной себестоимости (C) готовой продукции (формула 3.1 и 3.2). Кроме того было произведено сравнение результатов использования однорядного взрывания с применяемой технологией буровзрывной подготовки при многорядном короткозамедленном взрывании. Результаты экономической оценки подготовки пород к выемке при многорядном и

однорядном взрывании представлены в таблице 3.6.

Таким образом, применение однорядного взрывания позволило увеличить объем выхода из взорванного блока товарной продукции фракцией 40-200 мм до 60% за счет снижения удельного расхода ВВ (до 50%) и расширения сетки скважин (до 15-29 %), при этом выход негабарита (+200 мм) увеличился в 5 раз.

Кроме того, в результате технико-экономической оценки результатов опытно-промышленных испытаний установлено, что эффективность предприятия повысилась на 11%. При этом, достигнуто снижение потерь до 5%, а разубоживания до 4 %.

Таблица 3.6 – Сравнение результатов экономической оценки подготовки пород к выемке с помощью буровзрывных работ

Наименование показателей	Одно-рядное	Много-рядное	Одно-рядное	Много-рядное	Стоимость процесса БВР/цена продажи (без НДС), руб/м ³		Затраты/объем продаж/эффект в год (без НДС), млн руб.	
	%		м ³		Одно-рядное	Много-рядное	Одно-рядное	Много-рядное
Объем рыхления БВР	100		320 000		56	72	17,92	23,04
Отсев первичный (0-20 мм)	9	18	28 800	57 600				
Негабарит (+ 200 мм)	49	10	156 800	32 000	51		8	1,63
Выход товарной продукции			291 200	262 400				
Итого затраты на подготовку к выемке							25,92	24,67
Объем реализации			291 200	262 400	500		145,6	131,2
Валовая прибыль							119,68	106,53
Экономический эффект, руб. (%)	13 150 000 (11%)							

Однако для повышения полноты освоения запасов месторождения белого мрамора необходимо обеспечить разработку не только фракционного щебня, но и высокодекоративного блочного камня, которые добываются в пределах одного карьерного поля. Для этого необходимы исследования, направленные на совмещение технологий механической и буровзрывной подготовки горных пород к выемке.

3.3. Обоснование технологии добычи мраморных блоков и щебня на одном месторождении

Для обеспечения комплексного освоения участка недр месторождений мрамора высокой степени белизны в работе предложены технико-технологические решения, обеспечивающие совмещение способов подготовки с увязкой параметров применяемого горного оборудования, включающие применение буровзрывных работ, карьерного комбайна, тяжелого гидромолота, алмазно-канатных и баровых камнерезных машин. Данные способы предусматривают следующую специфику ведения горных работ в зависимости от районирования месторождения:

1. по глубине (зонирование в вертикальной плоскости):

- выше лежащий выветрелый слой мрамора подготавливается к выемке при помощи БВР;
- нижний слой массива с балансовыми запасами мрамора с коэффициентом выхода кондиционного товарного блока отрабатывается алмазно-канатными и баровыми камнерезными машинами;
- промежуточный слой, частично нарушенный взрывом, а также участки с сильно трещиноватым массивом отрабатываются с применением карьерного комбайна.

2. по развитию фронта работ (зонирование в горизонтальной плоскости):

- участок массива по высоте (кратный высоте) уступа с балансовыми запасами мрамора при коэффициенте выхода кондиционных товарных блоков отрабатывается алмазно-канатными и баровыми камнерезными машинами;
- слой, включающий демпферную подушка между участками блочного мрамора и щебня; а также контакты включений ожелезненного мрамора и доломотизированного известняка, частично нарушенные взрывом, отрабатываются карьерным комбайном или тяжелым гидромолотом;

- участок добычи мраморного щебня отрабатывается по традиционной четырехциклической технологии и подготавливается к выемке горной массы буровзрывным способом.

При добыче в пределах одного карьерного поля блочного камня и мраморного щебня особые условия предъявляются к проектированию и производству БВР. При этом возможно два варианта пространственного расположения участков блочного камня и массива пород для получения щебня: участок блочного камня расположен ниже участка выполнения буровзрывных работ; участок блочного камня расположен на одном горизонте ведения горных работ.

На основе систематизации горно-геологических условий основных месторождений России с запасами мрамора высокой степени белизны разработаны технологические схемы подготовки пород к выемке, создания защитных конструкций, в зависимости от принятой схемы вскрытия и системы разработки, с учетом обеспечения одновременной отработки запасов участков блочного камня и мраморного щебня.

В работе на основании предложенной в параграфе 2.4. методики районирования месторождения белого мрамора по трещиноватости, белизне и другим критериям качества товарной продукции установлены две принципиальные схемы вскрытия исходя из пространственного положения участков для добычи блочного камня и мраморного щебня (рисунок 3.5 и 3.6):

1 вариант предусматривает расположение участка блочного камня, имеющего общую границу с периметром карьерного поля, где применяется одна схема вскрытия, обеспечивающая одновременный транспортный доступ к запасам блочного камня и мраморного щебня;

2 вариант предусматривает расположение участка блочного камня, не имеющего границу с периметром карьерного поля, где районированные участки вскрываются отдельными схемами вскрытия, обеспечивающие независимые транспортные выходы на поверхность.

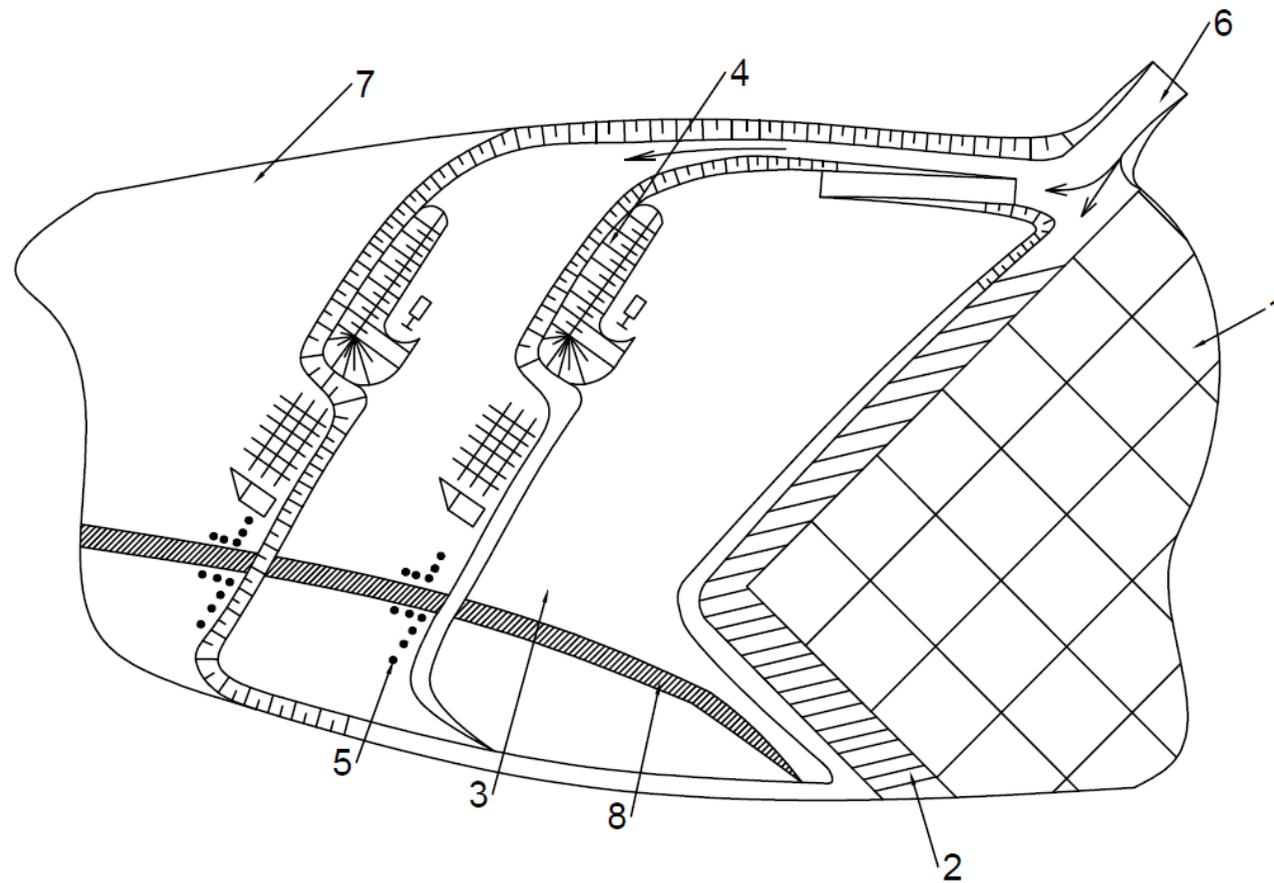


Рисунок 3.5 – Схема расположения участка блочного камня, имеющего общую границу с периметром карьерного поля
 1 - участок месторождения с блочным камнем; 2 – целик (демпферная подушка); 3 – участок месторождения для добычи щебня; 4 – технология БВР с применением многорядного КЗВ; 5 – технология БВР с применением однорядного взрывания; 6 – схема вскрытия месторождения; 7 - лицензионный участок месторождения; 8 – включения темного (желтого) мрамора

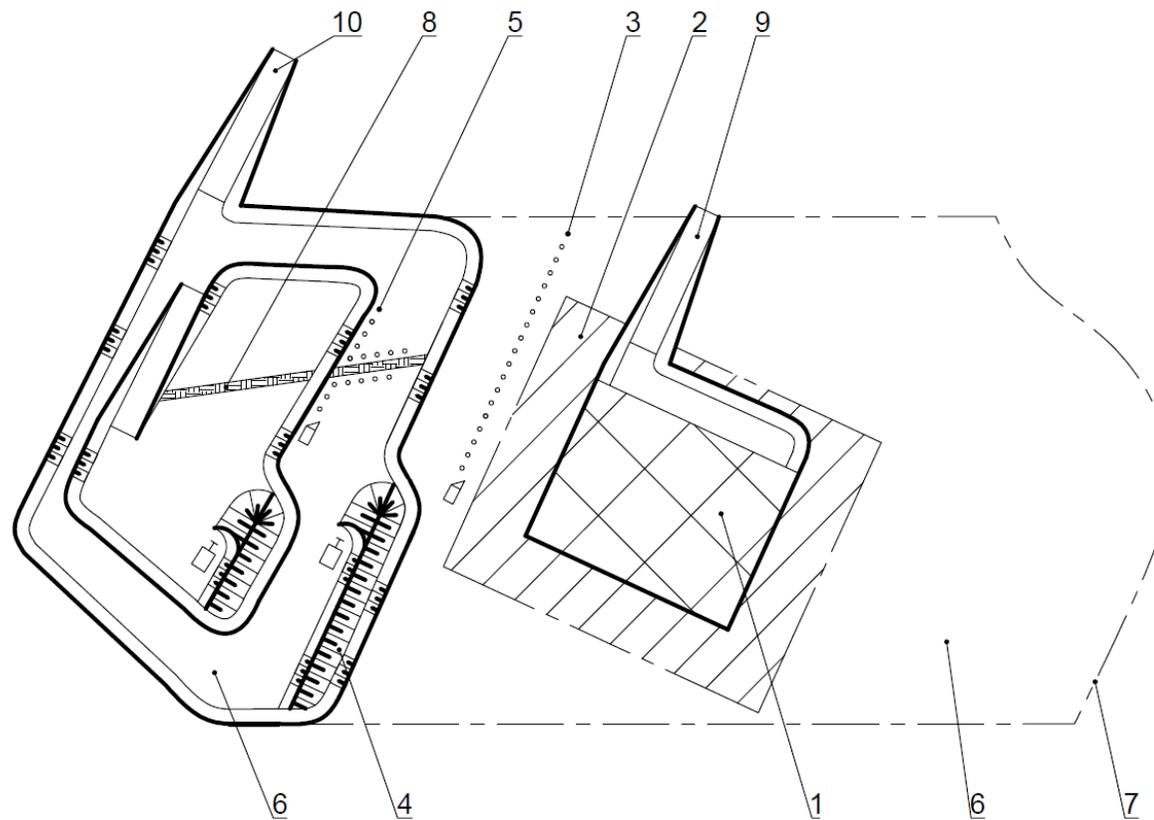


Рисунок 3.6 – Схема расположения участка блочного камня, не имеющего границу с периметром карьерного поля
 1- участок месторождения с блочным камнем; 2 – целик (демпферная подушка); 3 – демпфер в виде щели из холостых скважин или взрывных скважин малого диаметра; 4 – технология БВР с применением многорядного КЗВ; 5 – технология БВР с применением однорядного взрывания; 6 – участок месторождения для добычи щебня; 7 – лицензионный участок месторождения; 8 – включения темного (желтого) мрамора; 9 – схема вскрытия участка с блочным камнем; 10- схема вскрытия участка месторождения для добычи щебня

Для обеспечения совмещения работ блочного камня и мраморного щебня предлагается использовать защитные демпферы. При этом следует отметить, что охраняемой зоной является участок с запасами высокодекоративного блочного камня. В зависимости от пространственного положения данного участка демпфер условно разделен на вертикальный и горизонтальный (рисунок 3.7).

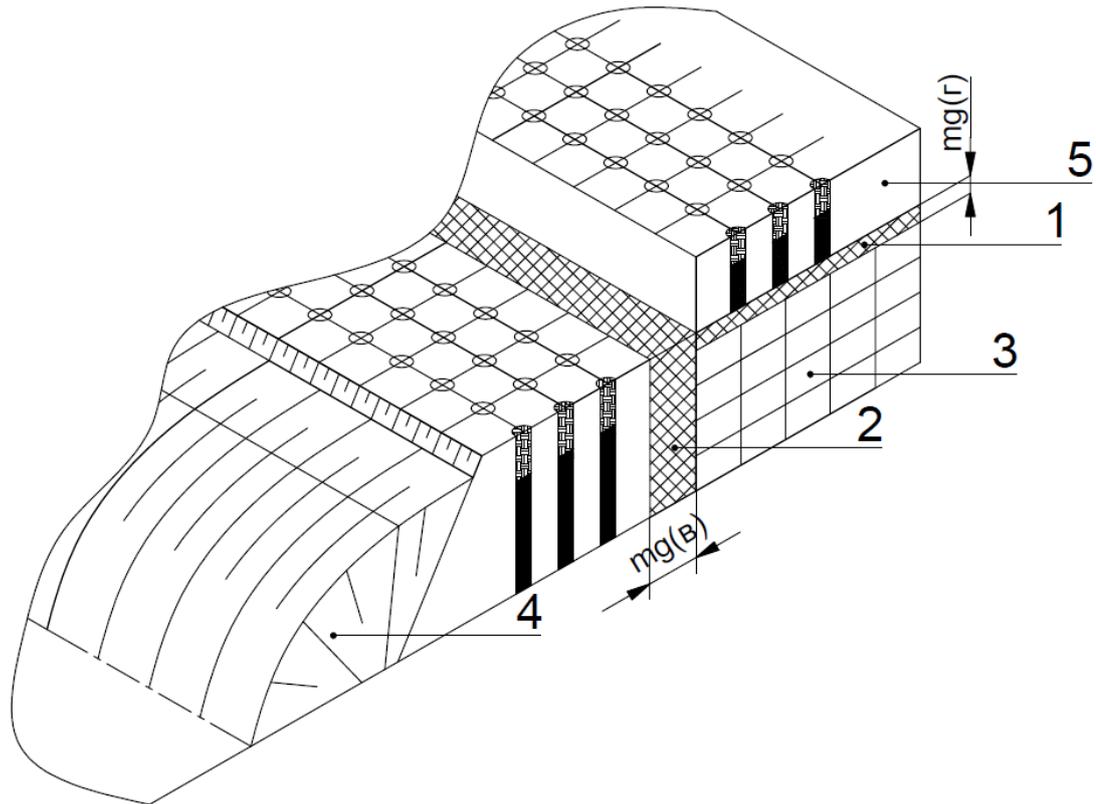


Рисунок 3.7 – Схема пространственного расположения демпфера
 1 – горизонтальный демпфер; 2 – вертикальный демпфер; 3 – участок недр с запасами высокодекоративного блочного камня; 4 – участок добычи мраморного щебня; $m_{q(r)}$ – мощность горизонтального демпфера; $m_{q(v)}$ – мощность вертикального демпфера.

Горизонтальный демпфер может быть организован только оставлением предохранительного целика, величина которого определяется с учетом воздействия БВР ниже донной части заряда и запаса прочности.

В отличие от горизонтального демпфера, вертикальной может быть реализован не только в виде предохранительного целика, но и различной

конструкции демпфера с учетом негативного воздействия упругих и сейсмических волн (рисунок 3.8).

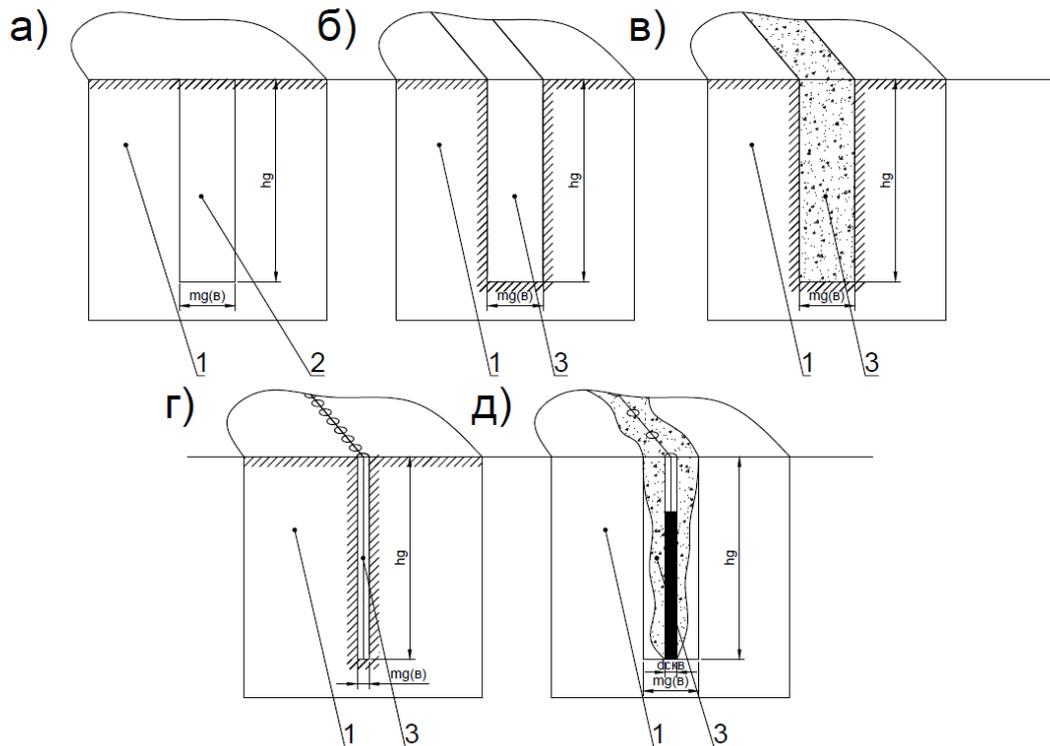


Рисунок 3.8 – Конструкции вертикального демпфера

а – целик; б – траншея (выемка); в – траншея (выемка), заполненная инертным наполнителем; г – холостые скважины; д – контурное взрывание;

$m_{q(b)}$ – мощность вертикального демпфера, м; h_q – глубина вертикального демпфера, м; $d_{скв}$ – диаметр скважины, м;

1 – охраняемый участок массива (блочный камень) с акустической жесткостью $\rho_1 C_{p1}$; 2 – целик с акустической жесткостью $\rho_1 C_{p1}$; 3 – демпфер с акустической жесткостью $\rho_2 C_{p2}$;

Существующая методическая база определения параметров БВР не предусматривает возможности определения одновременного воздействия скважинного заряда в донной его части и околоскважинной зоне.

В работе для определения параметров демпфера, изолирующего участки блочного камня от участков с применением буровзрывных работ, предложено использование принципов расчета параметров БВР, базирующихся на учете трещиноватости и упругих характеристик массива, диаметра заряда и его конструкции, типов ВВ.

Методика, предложенная в «Технических правилах ведения взрывных работ в энергетическом строительстве» [114]:

$$h = h_0 \cdot K_{ш} \cdot K_{нт} \cdot d \quad (3.4)$$

где h - мощность нарушенной зоны, мм;

h_0 - относительная глубина нарушения массива при взрыве (в диаметрах заряда), принимаемая по таблице 3.7;

$K_{ш}$ – коэффициент, учитывающий среднюю ширину раскрытия трещин в массиве, принимаемый по таблице 3.8;

$K_{нт}$ – коэффициент, учитывающий направление основной системы трещин в массиве, значения которых даны в таблице 3.9;

d - диаметр заряда, мм (принимается равным диаметру скважины).

Таблица 3.7 - Относительная глубина нарушения массива по оси скважин

Класс грунтов	Относительная глубина нарушения массива при взрыве в массивах категории трещиноватости		
	II	III	IV-V
Ia	4,5	3,0	2,5
Iб	6,5	4,5	3,5
II	10,0	5,5	4,0
III	18,0	11,5	8,5

Таблица 3.8 - Поправка на ширину раскрытия трещин в массиве

Категория трещиноватости массива	Значения $K_{ш}$ при средней ширине раскрытия трещин в массиве, мм			
	менее 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 5
I - II	0,7	1,0	1,3	1,7
III	1,0	1,0	1,2	1,7
IV - V	1,0	1,0	1,0	1,3

Таблица 3.9 - Значения $K_{нт}$ в зависимости от направления трещин в массиве

Направление основных систем трещин в массиве	Горизонтальное и субгоризонтальное (до 15°)	Вертикальное и субвертикальное (70° и более)	Наклонное (15° - 70°)	Отсутствие господствующей системы
Значения $K_{нт}$	0,8	1,3	1,0	1,0

Таблица 3.10 - Классификация скальных грунтов по сопротивляемости трещинообразованию при взрыве

Класс грунтов	Генезис и тип грунтов	Показатели свойств грунтов в образцах					Группа грунтов по СНиП (ориентировочно)
		Прочность на сжатие, Мпа	Плотность, 10^3 кг/м ³	Скорость продольных упругих волн, км/с	Коэффициент Пуассона	Отношение прочности на растяжение к прочности на сжатие	
Ia	Интрузивные основные и метаморфические грунты с весьма высокой сопротивляемостью трещинообразованию: базальты, габбро, диабазы, порфиры, кварциты, кристаллические сланцы	Более 100	2,65 - 3,7	5,0 - 6,5	0,15 - 0,3	0,09 - 0,15	IX - XI
Iб	Интрузивные кислые грунты с высокой сопротивляемостью трещинообразованию: граниты и гранитоиды	Более 100	2,6 - 2,8	4,0 - 6,0	0,15 - 0,2	0,045 - 0,06	IX - XI
II	Метаморфические и осадочные грунты средней сопротивляемости трещинообразованию: известняки, доломиты, гнейсы, мрамор, песчаник	50 - 100	2,6 - 2,8	3,8 - 5,5	0,2 - 0,35	0,07 - 0,12	VII - VIII
III	Осадочные грунты с малой сопротивляемостью трещинообразованию: алевролиты, аргиллиты, слабосцементированные песчаники	Менее 50	2,3 - 2,65	3,8 - 5,0	0,3 - 0,36	0,07 - 0,10	IV - VI

В соответствии с методикой и физико-механическими свойствами мрамора высокой степени белизны был выполнен расчет мощности нарушенной зоны в донной части скважины в зависимости от конструкции зарядов (рисунок 3.9а) и применяемых диаметров взрывных скважин (таблица 3.11).

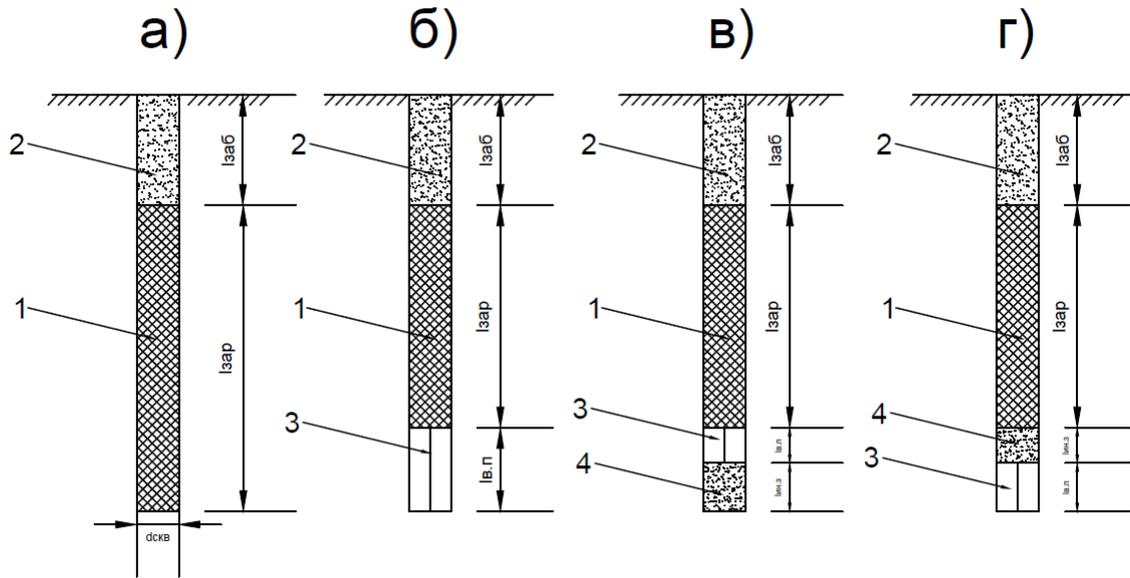


Рис. 3.9 – Конструкция зарядов в донной части скважины

а) – сплошной колонковый заряд; б) – заряд на воздушной подушке; в) – воздушный промежуток между зарядом и инертным наполнителем; г) – инертный наполнитель между зарядом и воздушным промежутком;

1 – заряд ВВ; 2 – забойка скважины; 3 – воздушный промежуток; 4 – промежуток с инертным наполнителем;

$l_{зар}$ – длина заряда в скважине; $l_{заб}$ – длина забойки в скважине; $l_{в.п.}$ – длина воздушного промежутка, м; $l_{ин.нап.}$ – длина инертного наполнителя, м.

Таблица 3.11 - Расчет мощности нарушенной зоны в донной части скважины для сплошного колонкового заряда в зависимости от его диаметра

Диаметр заряда (d), мм	Коэффициент, учитывающий среднюю ширину раскрытия трещин в массиве ($K_{ш}$)	Коэффициент, учитывающий направление основной системы трещин в массиве ($K_{нт}$)	Мощность нарушенной зоны (h), мм	Относительная глубина нарушения массива при взрыве (в диаметрах заряда), (h_0)
110	1,0	0,8	352	4,0
135	1,0	0,8	432	4,0
175	1,0	0,8	560	4,0
190	1,0	0,8	608	4,0
215	1,0	0,8	688	4,0
235	1,0	0,8	752	4,0
250	1,0	0,8	800	4,0

Следует отметить, что недостатками данной методики являются:

- отсутствие учета влияния характеристик взрывчатого вещества на размеры зоны разрушения;
- отсутствие учета влияния конструкции и параметров заряда на размеры зоны разрушения;
- невозможно оценить распространение трещиноватости в донной части заряда при расчете зоны нарушения массива.

Таким образом, данная методика не позволяет в полной мере оценить зону распространения трещиноватости в массиве горных пород, которая, в свою очередь, негативно влияет на сохранение природной трещиноватости массива блочного камня. Кроме того данная методика определяет параметры только колонкового заряда и не учитывает его конструкцию.

Для учета конструкции заряда при определении мощности демпферной подушки в работе предложена методика базирующаяся на принципах, представленных в исследования Алексева А.М. [81].

$$r_{сж} = 60 \cdot d_3 \frac{\sqrt{\gamma_{ВВ}}}{\sqrt{\gamma_{вод}}} \frac{1}{\sqrt[3]{([V_{сж}] \cdot K_D)^2 \sqrt{1 + \frac{l_D}{l_3}}}} \quad (3.5)$$

где $r_{сж}$ - размер зоны трещинообразования, м;

d_3 - диаметр заряда (скважины), м;

$\gamma_{ВВ}$ - плотность ВВ в заряде, т/м³;

$\gamma_{вод}$ - плотность воды ρ в, т/м³;

K_D - коэффициент динамичности, характеризующий относительное увеличение разрушающей нагрузки при динамическом нагружении по сравнению с сжимающей нагрузкой при нагружении квазистатическом (1,25 - 2);

l_D - длина демпфера в скважине, м;

l_3 - длина заряда в скважине;

$[V_{сж}]$ - допустимая скорость смещения, соответствующая статическому пределу прочности на сжатие, м/с, которая определяется по формуле:

$$[V_{сж}] = \frac{0,1 \cdot \sigma_{сж}}{\gamma \cdot C_p} \quad (3.6)$$

где C_p – скорость звука в породе, км/с

$\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа

γ - объемная масса породы, т/м³

В работе проведены исследования влияния высоты заряда и высоты воздушного промежутка в зависимости от конструкции заряда в скважине на величину зоны трещиноватости.

Результаты моделирования воздействия конструкции заряда (рисунок 3.9б) на величину разрушаемой зоны его воздействия представлены в таблице 3.12.

В работе в результате моделирования установлены зависимости изменения мощности горизонтального демпфера в диаметрах заряда с учетом принятой его конструкции (рисунок 3.10).

В результате полученных зависимостей мощности горизонтального демпфера, представленных на рисунке 3.10, установлено что конструкция заряда на воздушной подушке уменьшает зону трещинообразования в донной части по сравнению со сплошным колонковым зарядом до 12%, а ее величина составляет от 4 до 5 диаметров скважинного заряда в зависимости от типов взрывчатых веществ. Величина демпферной подушки находится в прямо пропорциональной зависимости от диаметра скважинного заряда.

Таблица 3.12 Расчет зоны трещинообразования по методике Алексева

Диаметр скважины d, мм	Плотность ВВ в заряде, $\gamma_{ВВ}$, т/м ³					Коэф. динамичности K_d (1,25 - 2)	Глубина скважины h, м	Длина демпфера l_d , м	Допустимая скорость смещения, $[V_{сж}]$, м/с	Предел прочности породы на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Объемная масса ГП γ , т/м ³	Скорость звука в породе C_p , км/с	Размер зоны трещинообразования в соответствии с исследуемым ВВ $r_{сж}$, м				
	Гранулит АС-4	Гранулит АС-8	Гранулолито	Сибирит 1200	Акватол Т-10МС								Гранулит АС-4	Гранулит АС-8	Гранулолито	Сибирит 1200	Акватол Т-10МС
а) воздушная подушка длиной 1,0 м																	
110	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	1,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,46	0,47	0,48	0,52	
135	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	1,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,54	0,56	0,57	0,61	
175	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	1,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,71	0,73	0,75	0,80	0,93
190	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	1,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,79	0,81	0,83	0,90	1,04
215	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	1,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,87	0,90	0,92	0,99	1,15
235	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	1,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,95	0,98	1,01	1,09	1,26
250	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	1,00	4,34	72,00	2,70	6,15	1,04	1,07	1,10	1,18	1,37
б) воздушная подушка длиной 0,5 м																	
110	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,50	4,34	72,00	2,70	6,15	0,48	0,49	0,50	0,54	
135	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,50	4,34	72,00	2,70	6,15	0,56	0,58	0,60	0,64	
175	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,50	4,34	72,00	2,70	6,15	0,74	0,76	0,78	0,84	0,97
190	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,50	4,34	72,00	2,70	6,15	0,82	0,85	0,87	0,94	1,09
215	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,50	4,34	72,00	2,70	6,15	0,91	0,94	0,96	1,03	1,20
235	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,50	4,34	72,00	2,70	6,15	1,00	1,03	1,05	1,13	1,31
250	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,50	4,34	72,00	2,70	6,15	1,08	1,11	1,14	1,23	1,43
в) воздушная подушка отсутствует (сплошной колонковый заряд)																	
110	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,50	0,51	0,52	0,56	
135	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,59	0,60	0,62	0,67	
175	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,77	0,79	0,81	0,87	1,01
190	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,86	0,88	0,90	0,97	1,13
215	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,00	4,34	72,00	2,70	6,15	0,95	0,97	1,00	1,08	1,25
235	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,00	4,34	72,00	2,70	6,15	1,04	1,07	1,10	1,18	1,37
250	0,85	0,9	0,95	1,10	1,48	1,40	10,00	0,00	4,34	72,00	2,70	6,15	1,13	1,16	1,19	1,28	1,49

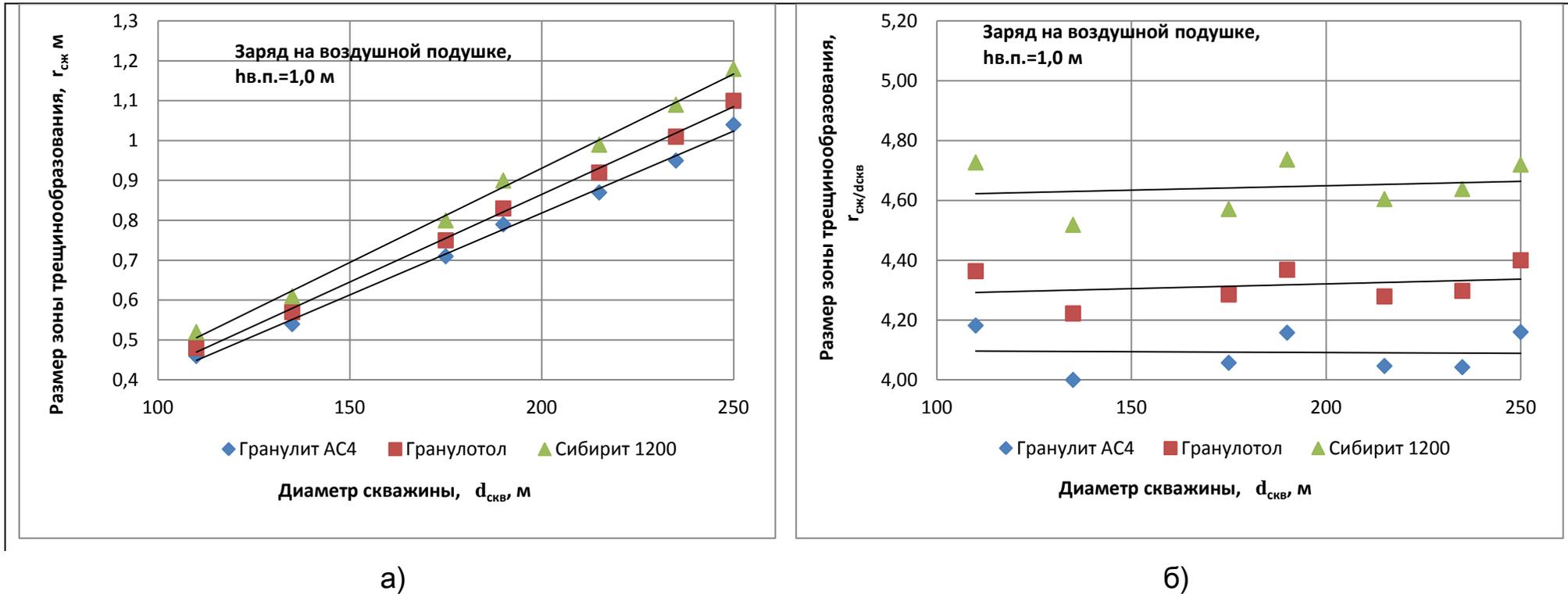
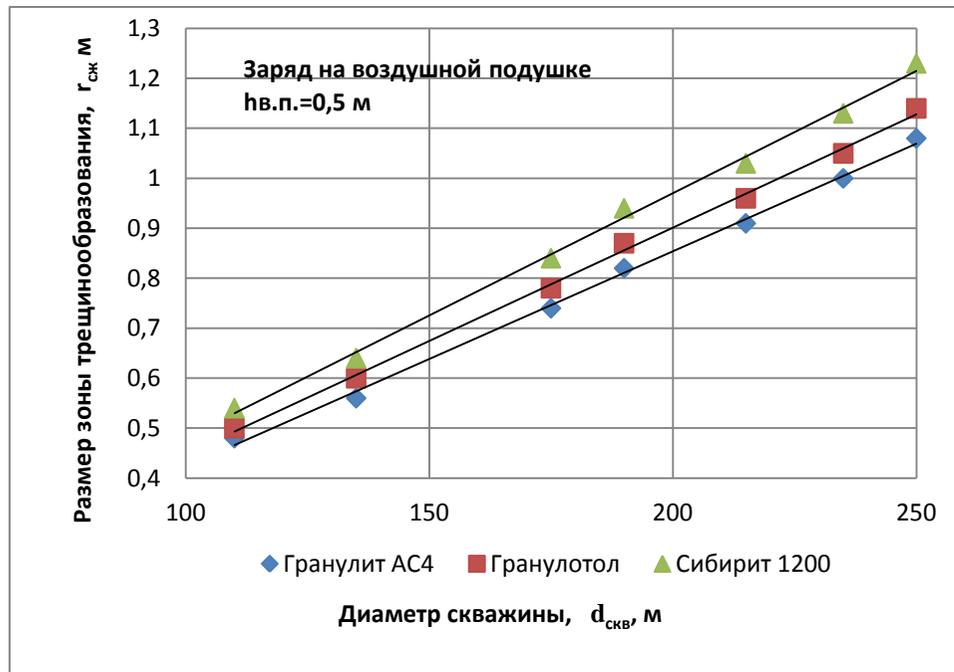


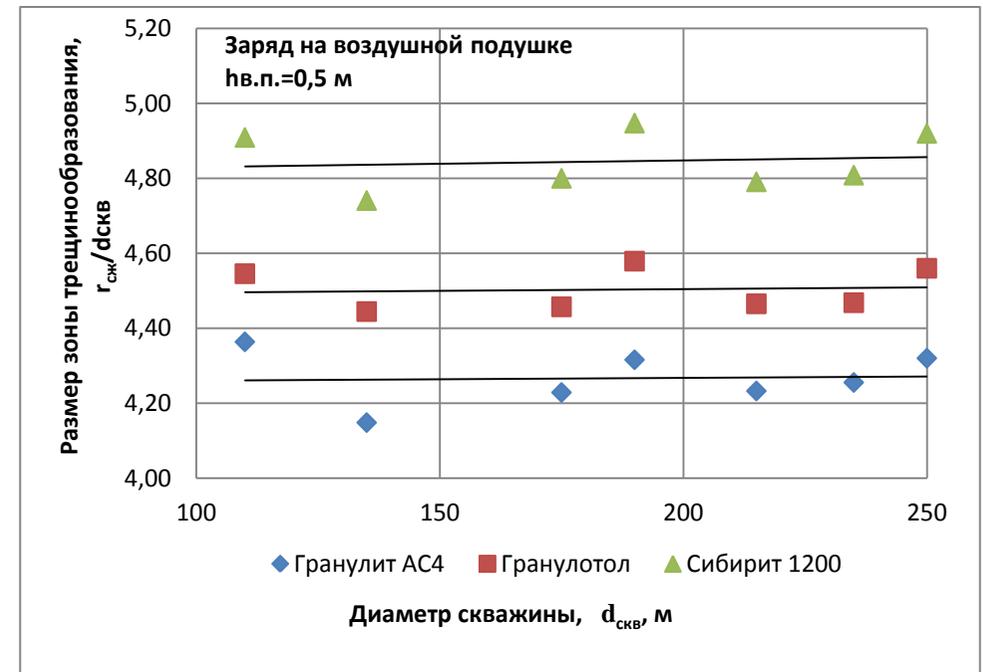
Рисунок 3.10 - Зависимости изменения мощности горизонтального демпфера (размер зоны трещинообразования, м) в диаметрах заряда от принятой конструкции скважинного заряда на воздушной подушке ($h_{в.п.}=1,0$ м) и типов взрывчатых веществ

а) мощность горизонтального демпфера, м;

б) мощность горизонтального демпфера, в диаметрах заряда



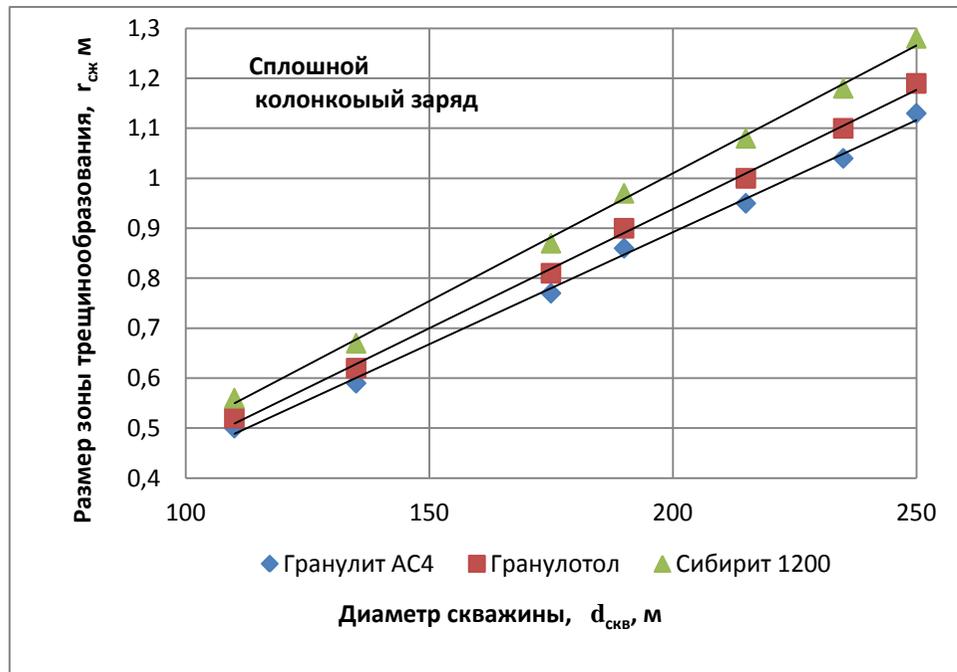
а)



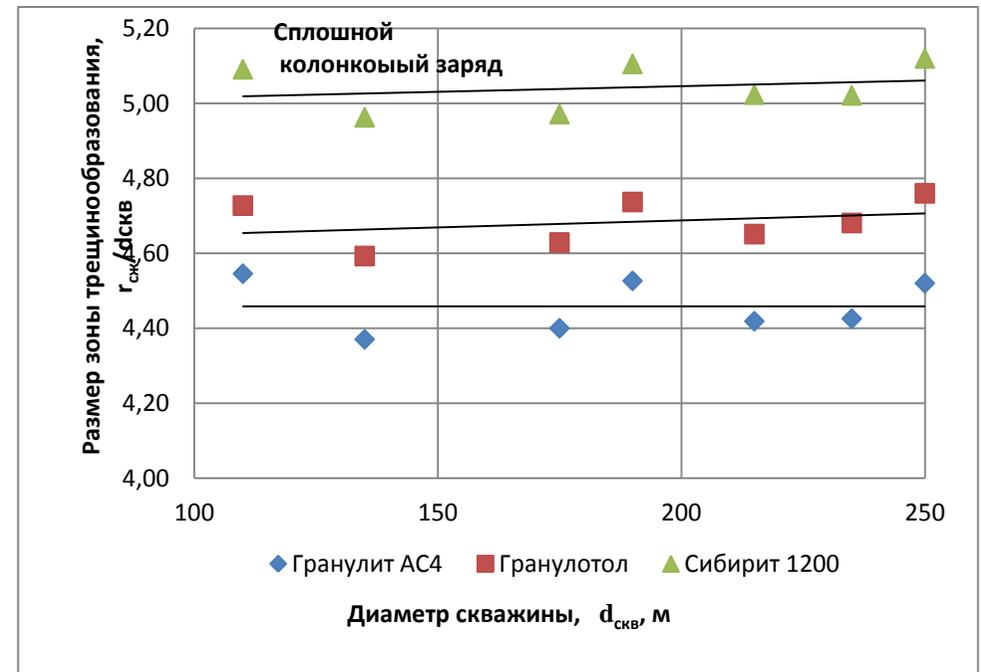
б)

Рисунок 3.11 - Зависимости изменения мощности горизонтального демпфера (размер зоны трещинообразования, м) в диаметрах заряда от принятой конструкции скважинного заряда на воздушной подушке ($h_{в.п.}=0,5$ м) и типов взрывчатых веществ

- а) мощность горизонтального демпфера, м;
 б) мощность горизонтального демпфера, в диаметрах заряда



а)



б)

Рисунок 3.12 - Зависимости изменения мощности горизонтального демпфера (размер зоны трещинообразования, м) в диаметрах заряда для сплошного колонкового заряда в зависимости от типов взрывчатых веществ

а) мощность горизонтального демпфера, м;

б) мощность горизонтального демпфера, в диаметрах заряда

Предложенные способы определения параметров горизонтальных демпферов, не применимы для расчета мощности вертикального демпфера.

В работе для определения мощности вертикального демпфера при различных типах применяемого ВВ предложена методика, основанная на принципах, заложенных Андриевским А.П. и Зуевым А.Е. [4].

$$R_T = 0.2102 \cdot d \cdot \rho^{0.75} \cdot D^{1.5} \cdot \sigma_{сж}^{-0.25} \cdot \tau_{ср}^{-0.5} \cdot K_c^{-0.5} \quad (3.7)$$

где R_T – радиус зоны трещин, м;

d – диаметр скважины, м;

ρ – плотность ВВ, кг/м³;

D – скорость детонации, м/с;

$\sigma_{сж}$ – предел прочности пород при одноосном сжатии, Па;

$\tau_{ср}$ – предел прочности пород на срез, Па;

K_c – коэффициент структурного ослабления взрываемого трещиноватого массива, доли единицы (по справочным данным для мрамора коэффициент принят равным 0.7).

Данная методика учитывает не только влияние параметров горных пород и диаметра заряда, но и характеристики взрывчатого вещества (таблица 3.13) на радиус зоны трещинообразования.

Таблица 3.13 - Наименования и характеристики взрывчатых веществ

Название ВВ	Удельная теплота сгорания Q, кДж/кг	Плотность ВВ в заряде ρ , г/см ³	Критический диаметр dk, мм	Кислородный баланс, %	Объем газов V _г , л/кг	Скорость детонации и V _д , км/с	Коэффициент ВВ
Гранулит АС-8	5191	0,9	70 - 100	0,34	847	3,0 - 3,6	1,05
Гранулит АС-4	4522	0,85	100 - 120	0,41	907	2,6 - 3,5	1,13
Гранулотол	3642	0,9 - 0,95	10 - 15	74	1045	5,5 - 6	1
Сибирит 1200	2580	0,8-1,25	20-25	-4,8	1097	5,7-5,9	0,8
Акватол Т-10МС	3680	1,46 - 1,50	160	3	960	5,1	0,93

Для более репрезентативной выборки были рассмотрены различные типы ВВ с различными скоростями детонации и плотностью зарядов.

Зоны трещиноватости в донной части заряда зависят от площади воздействия заряда и определяются его диаметром. Пределы прочности белого мрамора приняты на основе усредненных геологических данных месторождений Полоцкое, Еленинское и Коелгинское, коэффициент структурного ослабления массива горной породы принят по справочной литературе. Коэффициент структурного ослабления массива для мрамора принят по нижнему пределу значения, равного 0,7, поскольку данное условие является наиболее неблагоприятным. Расчет зоны трещинообразования для различных диаметров скважин и типов ВВ представлен в таблице 3.14.

Таблица 3.14 - Расчет зоны трещинообразования для различных типов ВВ и диаметра скважин

Диаметр скважины, d , мм	Предел прочности пород при одноосном сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа	Предел прочности пород на срез $\tau_{ср}$, Па	Коэффициент структурного ослабления взрываемого трещиноватого массива, K_c , д.ед.	Радиус зоны трещинообразования для различных типов ВВ, м				
				Гранулотол	Гранулит АС-8	Гранулит АС-4	Сибирит 1200	Акватол Т-10МС
110	72	9	0,7	7,36	3,12	2,33	8,44	8,69
135	72	9	0,7	9,04	3,82	2,86	10,35	10,67
175	72	9	0,7	11,72	4,96	3,71	13,42	13,83
190	72	9	0,7	12,72	5,38	4,03	14,57	15,01
215	72	9	0,7	14,39	6,09	4,56	16,49	16,99
235	72	9	0,7	15,73	6,66	4,98	18,03	18,57
250	72	9	0,7	16,74	7,08	5,30	19,18	19,75

С целью определения зоны трещинообразования в работе проведены исследования по установлению зависимости ее мощности от диаметра зарядов для различных типов ВВ (рисунок 3.11).

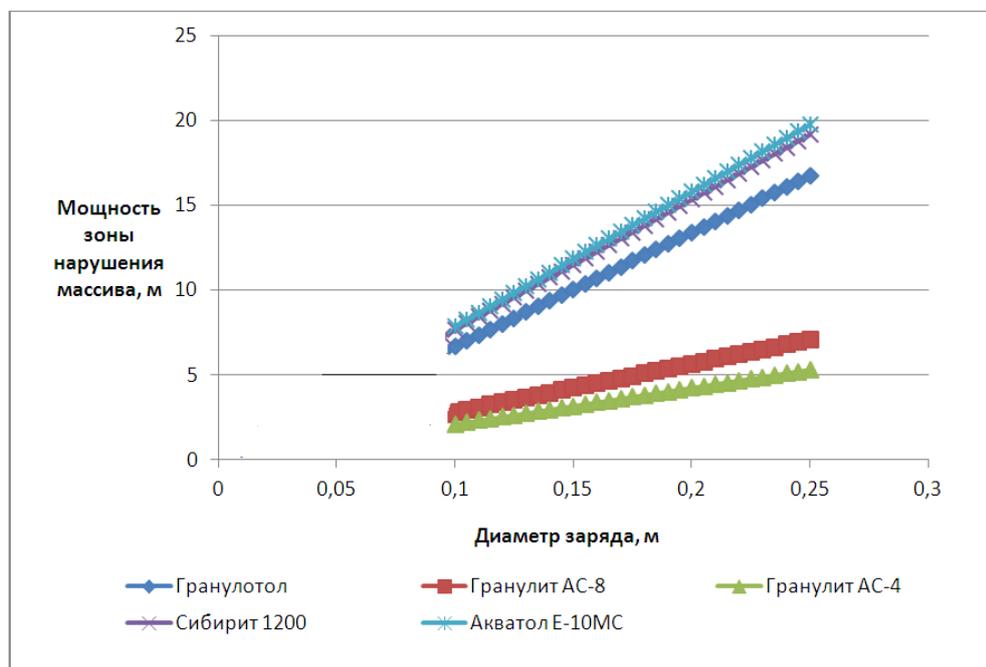


Рисунок 3.11 - График зависимости мощности зоны разрушения массива от диаметра скважины для различных типов ВВ

В результате анализа зависимости, представленной на рисунке 3.11, установлено, что мощность демпферной подушки для скважинных зарядов диаметром 160 мм при использовании Гранулита АС-4 составит 3,4 м.

Кроме того, на основании данных, представленных в таблице 3.14 установлено, что на месторождениях природного камня при его совместной отработки с участками разработки мраморного щебня целесообразным является применение низкобризантных ВВ с низкой плотностью заряжания.

Таким образом, при использовании буровзрывных работ над продуктивным слоем блочного камня выделяется демпфер (рисунок 3.7), который отрабатывается без взрыва и является экраном, защищающим участок блочного камня от действия взрывных нагрузок.

Мощность демпфера зависит с одной стороны от параметров взрывных работ, с другой - от мощности и характеристик слоев и межслоевых контактов, перекрывающих зону блочного камня.

3.4. Алгоритм выбора технологии добычи белого мрамора с максимальной прибылью

Для обеспечения комплексного освоения участка недр месторождений мрамора высокой степени белизны в работе рассмотрены технологии, обеспечивающие совмещение способов подготовки с увязкой параметров применяемого горного оборудования, включающие использование буровзрывных работ, карьерного комбайна, тяжелого гидромолота, алмазно-канатных и баровых камнерезных машин. Данные способы рассмотрены с точки зрения технологичности, производительности и безопасности для получения продукции высокой ценности.

Обоснование применения различных технологий ведения горных работ на месторождении белого мрамора осуществляется в зависимости от районирования месторождения и оценки максимальной прибыли предприятия.

Выбор рациональной технологии и определение ее оптимальных параметров, осуществляются в соответствии с разработанным алгоритмом, представленным на рисунке 3.13, который предусматривает следующую последовательность:

- сбор и подготовка исходных данных, характеризующих горно-геологические условия залегания полезной мраморной толщи, физико-механические свойства и качественные показатели товарной продукции мрамора;

- выполнение районирования карьерного поля по степени трещиноватости, белизны и засорения; когда трещиноватость равна или превышает III категорию, то зонированный участок предназначен для отработки блочного камня, если нет, то для мраморного щебня;

- обоснование выбора применяемой технологии в зависимости от вида товарной продукции и наличия кварцевых, темных и желтых включений;

- расчет затрат и максимальной прибыли в зависимости от вида товарной продукции и принятой технологии при комплексном освоении зонированных участков;

- определение рациональных параметров принятой технологии зонированного участка;

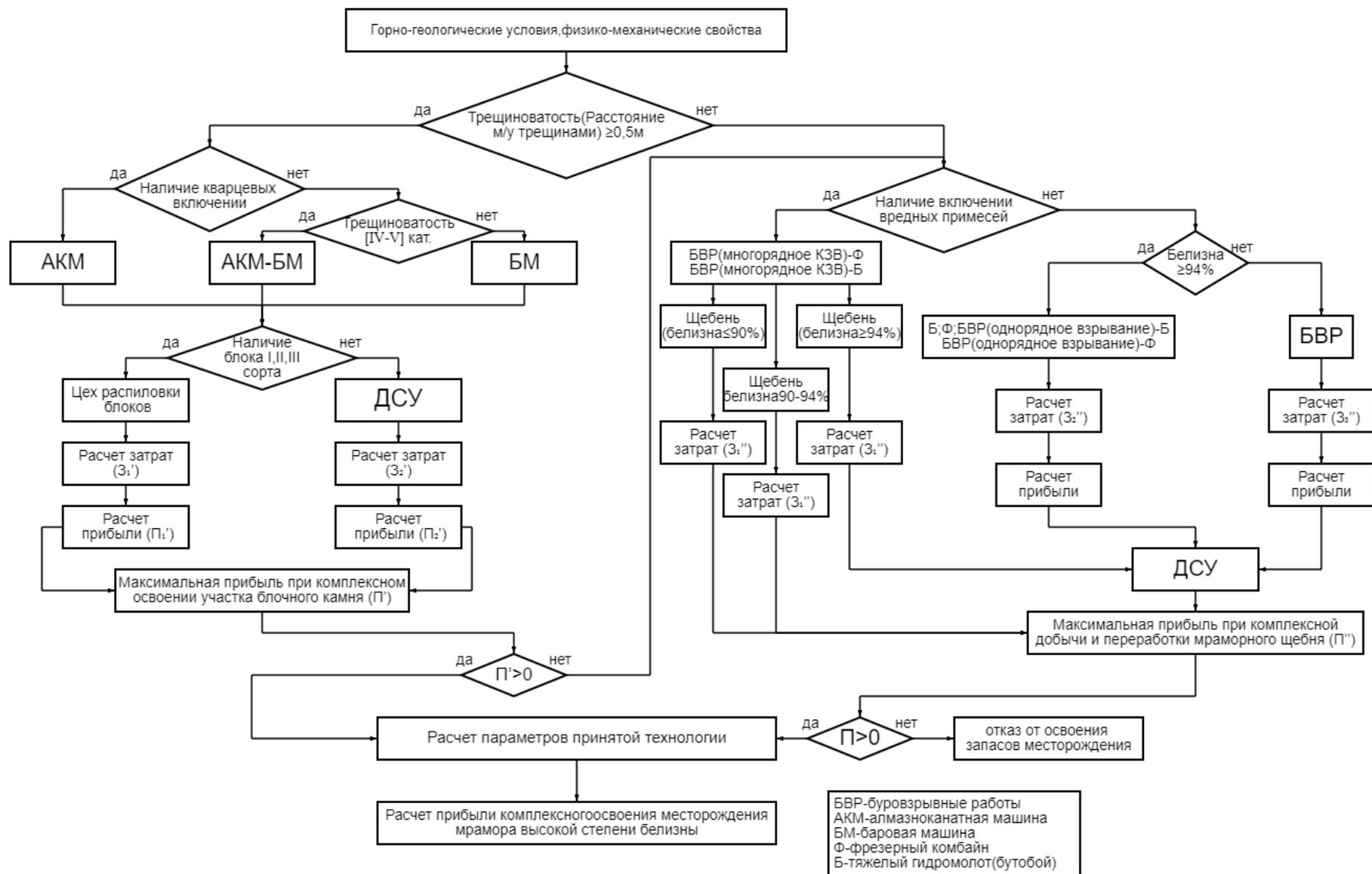


Рисунок 3.13 -Алгоритм выбора технологии добычи белого мрамора с максимальной прибылью

- расчет прибыли при комплексном освоении месторождения мрамора высокой степени белизны.

В таблице 3.15 приведена область применения технологий добычи мраморного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны в зависимости от структуры массива, производительности по горной массе, категории трещиноватости и показателя чистоты.

Таблица 3.15 - Область применения технологий добычи мраморного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны

<p><u>БВР (многорядное КЗВ)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - однородный массив, с размером участка не менее 20x50 м; - производительность не менее 30 тыс. м³; - массив мрамора с III категорией трещиноватости; - показатель чистоты месторождений мрамора высокой степени белизны 0-0,3; 	<p><u>БВР (однорядное взрывание)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - зоны контактов с вредными включениями, с расстояниями между ними от 5 до 10 м; - <u>производительность до 30 тыс.м³</u> - массив мрамора с III категорией трещиноватости; - показатель чистоты месторождений мрамора высокой степени белизны 0,3-0,5
<p><u>Гидрололоты</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - отработка зон вредных включений до 7 м; - массив мрамора с I и II категорией трещиноватости. - показатель чистоты месторождений мрамора высокой степени белизны 0,3-0,5 	<p><u>Фрезерные комбайны</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - наличие фронта работ протяженностью не менее 150 м; - массив мрамора с I, II и III категорией трещиноватости; - показатель чистоты месторождений мрамора высокой степени белизны 0-0,7

Таким образом, разработанная последовательность действий по определению оптимальных параметров технологии при комплексном освоении месторождения мрамора высокой степени белизны позволяет на стадии проектирования и освоения месторождения выполнить районирование карьерного поля по виду добываемой и перерабатываемой товарной продукции и обеспечить выбор технологии по критерию максимизации прибыли. Кроме того, предложенный алгоритм позволяет определять параметры технологии не только в статическом режиме на стадии проектирования, но и в динамическом режиме в период эксплуатации карьера, то есть при непосредственном ведении горных работ, что имеет существенное значение как для проектных организации, так и для горнодобывающих предприятий.

Выводы по 3 главе

1. Установлено, что при использовании традиционного способа подготовки мрамора к выемки, а именно БВР, приводит к переизмельчению горной массы в зоне зарядной камеры и, как следствие, снижению показателей качества (желтизны и белизны), существенным потерям полезного ископаемого (фракция 0-20 мм) до 30% и низкому проценту щебня высоких сортов в товарном балансе.

2. Установлено, что изменение параметров буровзрывных работ путем снижения удельного расхода ВВ (до 10%) и расширения сетки скважин (до 15 %) в условиях Еленинского месторождения ведут к снижению потерь полезного ископаемого на 8%, но и к увеличению выхода негабарита (+200 мм) в 5 раз, и как следствие к росту удельной стоимости товарной продукции на 39,7%.

3. Выполнено технико-экономическое моделирование, которое показало, что применение гидромолота тяжелого класса при разработке месторождений мрамора обеспечивает снижение эксплуатационных затрат на их подготовку к выемке за счет снижения потерь на Еленинском месторождении и увеличения выхода товарной продукции на 16 %, в том числе по сортам.

4. Разработаны паспорта забоя с нижней и верхней постановкой тяжелого гидромолота в зоне контакта белого мрамора с включениями серого (доломотизированного известняка) и желтого (ожелезненного мрамора) и определена последовательность их отработки с учетом оставления целика, шириной равной двум и более толщ откальываемой ленты.

5. Доказано, что одновременная добыча блочного камня и фракционного щебня в пределах карьерного поля, обеспечивается созданием демпферной конструкцией, форма и параметры которой определяются направлением развития фронта работ не только в плане, но и по глубине. Также установлено, что мощность демпферной подушки для скважинных зарядов диаметром 160 мм при использовании Гранулита АС-4 составит 3,4 м.

6. Установлены две принципиальные схемы вскрытия исходя из пространственного положения участков для добычи блочного камня и мраморного щебня: 1 вариант предусматривает расположение участка блочного камня,

имеющего общую границу с периметром карьерного поля, где применяется одна схема вскрытия, обеспечивающая одновременный транспортный доступ к запасам блочного камня и мраморного щебня; 2 вариант, предусматривает расположение участка блочного камня, не имеющего границу с периметром карьерного поля, где районированные участки вскрываются отдельными схемами вскрытия, обеспечивающие независимые транспортные выходы на поверхность.

7. Разработан алгоритм выбора технологии добычи белого мрамора, учитывающий зонирование участка месторождений белого мрамора по степени трещиноватости, белизны и наличия вредных включений и определение максимальной прибыли при комплексной отработке месторождения с оптимальными параметрами принятой технологии.

8. Определены области применения технологий добычи мраморного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны в зависимости от структуры массива, производительности по горной массе, категории трещиноватости и показателя чистоты.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МРАМОРА ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ БЕЛИЗНЫ

4.1 Рекомендации по повышению выхода товарной продукции в условиях Полоцкого месторождения мрамора.

Полоцкое месторождение блочного камня мрамора расположено в Кизильском муниципальном районе Челябинской области в 8 км юго-восточнее с.Полоцкое.

В орографическом отношении район работ представляет собой равнину с немногочисленными холмистыми долинами рек и ручьёв, ландшафт местности – степной. Абсолютные отметки дневной поверхности находится в пределах +340 ÷ +410 м, а на участке месторождения перепады высот от +360м до +365м.

Климат района резко континентальный, колебания температуры от -45°С до +40°С, преобладающее направление ветров западное и юго-западное. Устойчивый снежный покров формируется, в основном, в начале ноября и сходит в конце апреля. Среднегодовое количество осадков 350-380 мм, глубина промерзания грунтов 2,0-2,5м.

Полоцкое месторождение сложено, переслаивающимися между собой, *белыми массивными средне-мелкозернистыми мраморами*, среди которых выделяются тонкозернистые сахаровидные разности, не имеющие чётких границ и распределённые в толще белых мраморов бессистемно, и *серыми мраморами мелко-тонкозернистыми* массивными, пятнистыми и полосчатыми. Среди серых мраморов различаются дымчатые, светло-серые, серые, тёмно-серые разности, в распределении которых не наблюдается чёткой локализации. Мощности прослоев серых мраморов от 0,5 м до 30,0 м. Падение прослоев серых мраморов – северо-западное, западное под углом 20°-50°.

В целом структура месторождения определяется чередованием выдержанных слоев белых мраморов с извилистыми линзовидными прослоями серых мраморов. Соотношение белых и светло-серых мраморов на Полоцком месторождении 69% и 31% соответственно.

В результате районирования месторождений по критерию степени трещиноватости (рисунок 4.1 и 4.2) установлено, что весь объем запасов пригоден для получения высокодекоративных блоков белого мрамора, участки для добычи мраморного щебня отсутствуют.

При традиционной технологии отработки Полоцкого месторождения белого мрамора, а именно добыче блочного камня при использовании баровых машин выход товарных блоков составляет 11 % от общего объема добычи. При этом 89% кусков мрамора остаются непригодными к выпиливанию товарного блока и впоследствии складываются в отвал некондиционного мрамора.

Чистая годовая прибыль и рентабельность при использовании баровых и алмазно-канатных машин определяется по формуле:

$$P_{\text{ч}} = V_{\text{тов.бл}} C_{\text{тов.бл}} - V_{\text{тов.бл}} C_{\text{тов.бл}}, \text{ руб./год} \quad (4.1)$$

$$R = 100P_{\text{ч}} / C_{\text{тов.бл}} V_{\text{тов.бл}}, \% \quad (4.2)$$

где $P_{\text{ч}}$ - чистая годовая прибыль, руб/год;

$V_{\text{тов.бл}}$ - годовой объем добычи товарных блоков, м³/год;

$C_{\text{тов.бл}}$ - цена реализации (с учетом НДС) за 1 м³ товарного блока, руб/м³;

$C_{\text{тов.бл}}$ - себестоимость товарного блока, руб./м³;

R - рентабельность предприятия, %.

Результаты расчета экономических показателей применяемой технологии с использованием баровых и алмазно-канатных машин на Полоцком месторождении мрамора сведены в таблицу 4.1 и 4.2.

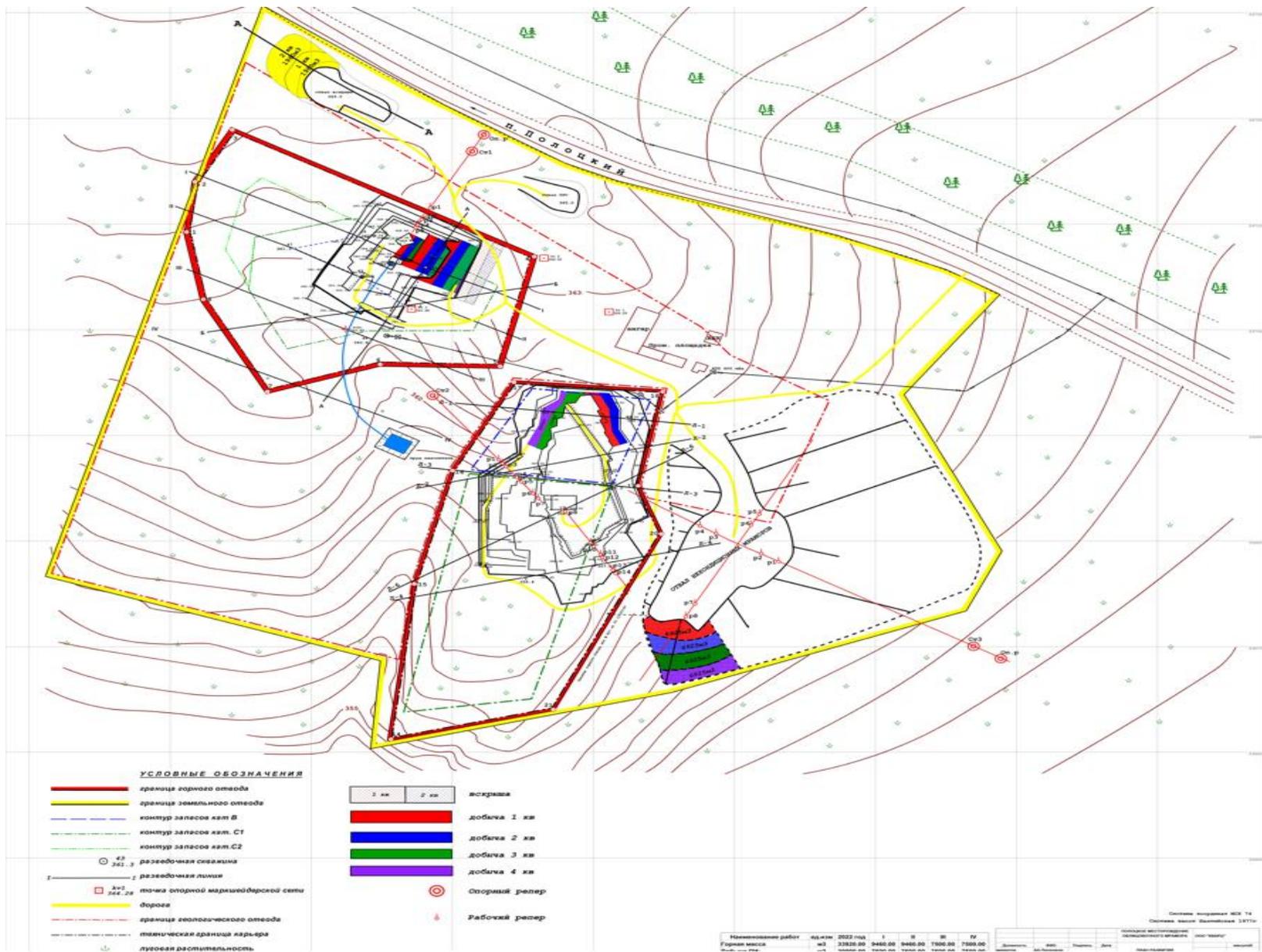


Рисунок 4.1 - План Полоцкого карьера с участками блочного камня по сортам и периодам отработки

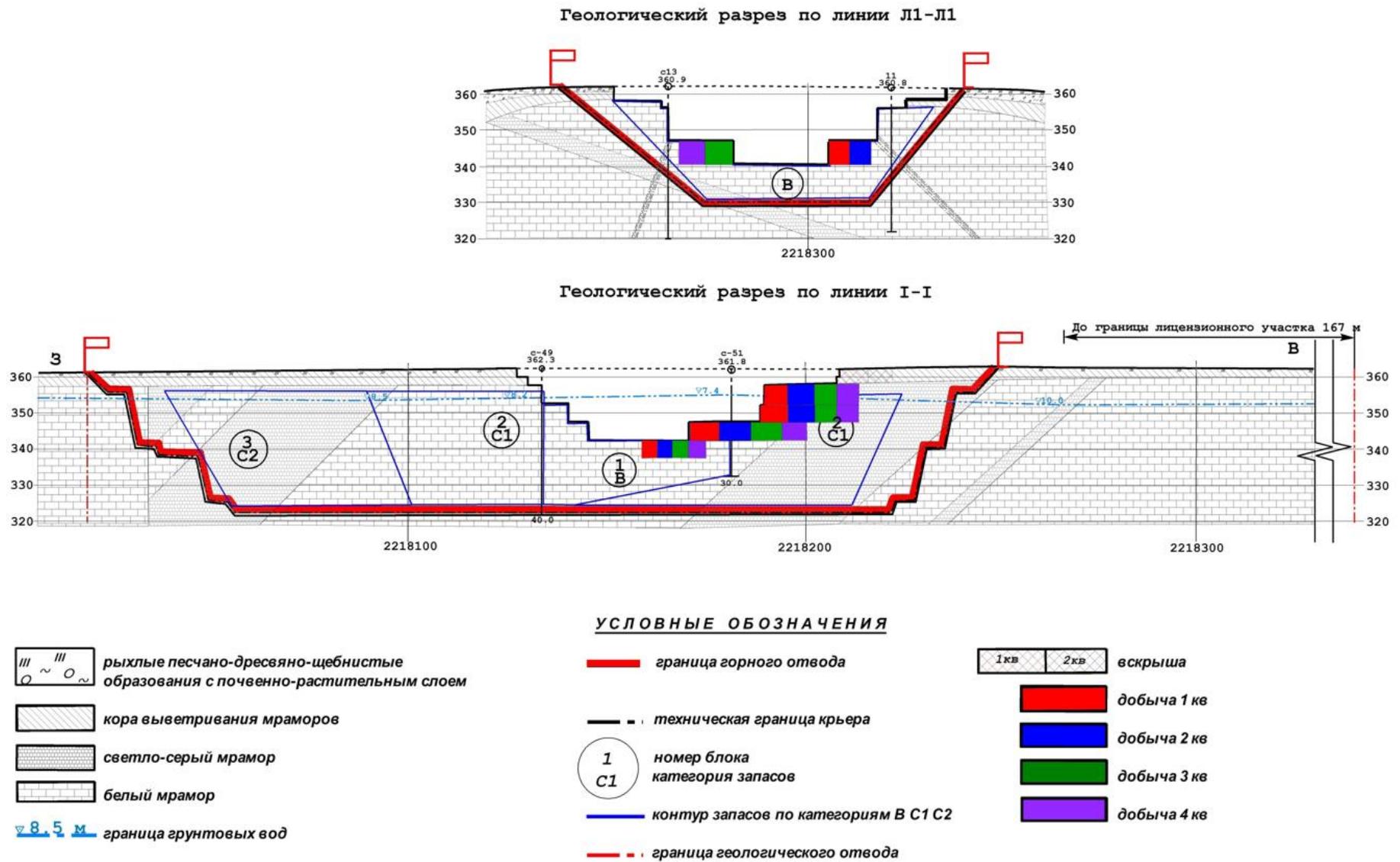


Рисунок 4.2 – Районирование Полоцкого месторождения в вертикальной плоскости

Таблица 4.1 – Экономическая оценка разработки Полоцкого месторождения белого мрамора по классической технологии добычи блочного камня баровыми машинами

Производительность карьера по горной массы ($Q_{гм}$), м ³ /год	Выход товарного блока, %	Годовой объем добычи товарных блоков ($V_{тов.бл}$), м ³ /год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 м ³ товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс. руб/м ³	Себестоимость товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс.руб/м ³
30000	11	3300	25	24,2
Чистая годовая прибыль ($\Pi_ч$), тыс.руб.	2 640			
Рентабельность (R), %	3,2			

При добыче блочного камня с использованием алмазно-канатных машин на Полоцком месторождении мрамора высокой степени белизны выход товарных блоков составляет 14 % от общего объема добычи, при этом 86% составляют куски мрамора, непригодные к выпиливанию товарного блока, которые впоследствии складировались в отвал некондиционного мрамора.

Таблица 4.2 – Экономическая оценка разработки Полоцкого месторождения белого мрамора по технологии добычи блочного камня алмазно-канатными машинами

Производительность карьера по горной массы ($Q_{гм}$), м ³ /год	Выход товарного блока, %	Годовой объем добычи товарных блоков ($V_{тов.бл}$), м ³ /год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 м ³ товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс. руб/м ³	Себестоимость товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс.руб/м ³
30000	14	4200	25	21
Чистая годовая прибыль ($\Pi_ч$), тыс.руб.	16 800			
Рентабельность (R), %	16			

Для наибольшего выхода блоков товарной продукции, параметрами отделяемого монолита должны быть следующие:

- а) высота монолита не менее 10 м,
- б) длина не менее 40 м,

в) глубина (толщина) не менее 2 м.

Достижение данных параметров возможно только при использовании алмазно-канатного пиления.

При комплексном освоении Полоцкого месторождения рассмотрен вариант добычи товарных блоков с использованием алмазно-канатного пиления. Некондиционный мрамор перерабатывается для производства декоративного песка и микрокальцита.

Чистая годовая прибыль и рентабельность при комплексной переработке определяется по формуле:

$$П_{ч} = (V_{\text{тов.бл}} C_{\text{тов.бл}} - V_{\text{тов.бл}} C_{\text{тов.бл}}) + (V_{\text{п}} C_{\text{п}} - V_{\text{п}} C_{\text{п}}), \text{ руб/год} \quad (4.3)$$

$$R = 100П_{ч} / (C_{\text{тов.бл}} V_{\text{тов.бл}} + V_{\text{п}} C_{\text{п}}), \% \quad (4.4)$$

где $П_{ч}$ - чистая годовая прибыль, руб/год;

$V_{\text{тов.бл}}$ - годовой объем добычи товарных блоков, м³/год;

$C_{\text{тов.бл}}$ - цена реализации (с учетом НДС) за 1 м³ товарного блока, руб/м³;

$C_{\text{тов.бл}}$ - себестоимость товарного блока, руб/м³;

$V_{\text{п}}$ - годовой объем некондиционного мрамора, перерабатываемого на декоративный песок и микрокальцит, т/год;

$C_{\text{п}}$ - цена декоративного песка (с учетом НДС) за 1 т, руб/т;

$C_{\text{п}}$ - себестоимость производства декоративного песка, руб/т;

R - рентабельность предприятия, %.

Результаты расчетов экономической оценки технических решений комплексной переработки запасов Полоцкого месторождения мрамора высокой степени белизны представлены в таблице 4.3

В результате технико-экономической оценки предложенных решений по повышению комплексности и полноты переработки запасов установлено, что годовой эффект составляет 55,3 млн. рублей.

Таблица 4.3 – Экономическая оценка комплексной переработки мрамора высокой степени белизны Полоцкого месторождения

Производительность карьера по горной массы ($Q_{гм}$), м ³ /год	Выход товарного блока, %	Годовой объем добычи товарных блоков ($V_{тов.бл}$), м ³ /год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 м ³ товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс. руб/м ³	Себестоимость товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс.руб/м ³	Объем некондиционного мрамора на декоративные пески, ($V_{п}$), т/год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 т декоративного песка ($C_{п}$), тыс. руб/т	Себестоимость производства декоративного песка ($C_{п}$), тыс. руб/т
30000	14	4200	25	21	69144		
					Фракции песков мм.		
					0,5-1	3,3	2,5
					1-1,5	3,3	2,5
					1,5-2	3,1	2,5
Итого						3,2	2,5
Чистая годовая прибыль ($Пч$), тыс.руб.	72 115						
Рентабельность (R), %	22						

4.2 Рекомендации по комплексному освоению Еленинского месторождения белых мраморов за счёт увеличения видов товарной продукции.

«Еленинское» месторождение белых мраморов расположено в Карталинском районе Челябинской области в 60 км западнее г. Карталы, в 12 км на юго-запад от ж.д. станции Джабык Южно-Уральской ж. д., в 5,0 км к западу от пос. Еленинка.

К северо-востоку от месторождения проходит ж. д. ветка Магнитогорск – Карталы - Челябинск. Район работ электрифицирован и газифицирован.

Блочность мраморов по керну скважин 60%, в том числе высотой более 100 см – 11,7%. По декоративным свойствам выделены белые, светло-серые и серые мраморы. Породы характеризуются ровной однородной окраской и неоднородной средне-мелкозернистой структурой. Мраморы хорошо обрабатываются, принимают зеркальную полировку, по декоративным качествам отнесены к классу декоративного камня.

Физико-механические показатели качества мраморов: средняя плотность 2,69 – 2,71 г/см³, водопоглощение 0,07 - 0,3%, прочность в воздушно-сухом состоянии 40 - 80 МПа, коэффициент снижения прочности в водонасыщенном состоянии 0,91, марка породы по морозостойкости Мрз 25. Исходные породы по физико-механическим показателям отвечают требованиям стандартов на блочный камень. Марка щебня по дробимости – 300 - 400, по морозостойкости Мрз - 25, содержание лещадных зерен 1,6 - 16,5%.

Годовой объем добычи мрамора на Еленинском месторождении составляет 280 000 м³ или 756 000 тонн.

На основе предложенной в параграфе 2.4 методики районирования карьерного поля на Еленинском месторождении выделено три зоны для добычи блочного камня и мраморного щебня (рисунок 4.3). При этом учитывалась неоднородность массива, в котором присутствует чередование слоёв белого, черного, темно-серого и жёлтого (доломитизированного мрамора) с шириной слоёв от 2 м до 5 м. В контактной зоне происходят потери и засорения до 22% в результате перемешивания. Следует отметить, что геологически данные слои залегают параллельно друг к другу.

Результаты районирования Еленинского месторождения мрамора:

1 зона - залегание слоёв мрамора белого и светло-серого, без включения мраморов черных, темно-серых и жёлтых (доломитизированных мраморов);

2 зона - залегание слоёв мрамора белые, светло-серые, черного, темно-серого и жёлтого (доломитизированного мрамора), ширина слоёв от 2 м до 5 м;

3 зона - залегание слоя светло-серого и небольших слоёв темно-серого и жёлтого (доломитизированного мрамора), ширина слоёв более 5 м.

С целью повышения полноты и комплексности освоения запасов месторождения в работе рассмотрены следующие технологические способы подготовки к выемке и добычи мрамора:

1. буровзрывное дробление – отработка запасов зоны 1;
2. с использованием фрезерного комбайна – отработка запасов зоны 2;
3. с использованием тяжелого гидромолота - отработка запасов зоны 2;
4. с использованием алмазно-канатных пил - отработка запасов зоны 3.

Чистая годовая прибыль и рентабельность при использовании существующей на предприятии технологии БВР определяется по формуле:

$$P_{\text{ч}} = V_{\text{щ}} C_{\text{щ}} - V_{\text{щ}} C_{\text{щ}}, \text{ руб/год} \quad (4.5)$$

$$R = 100P_{\text{ч}} / C_{\text{щ}} V_{\text{щ}}, \% \quad (4.6)$$

где $P_{\text{ч}}$ - чистая годовая прибыль, руб/год;

$V_{\text{щ}}$ – годовой объем добычи мраморного щебня, т/год;

$C_{\text{щ}}$ – цена реализации (с учетом НДС) за 1 т мраморного щебня, руб/т;

$C_{\text{щ}}$ – себестоимость добычи мраморного щебня, руб./т;

R - рентабельность предприятия, %

Результаты расчета экономических показателей применяемой технологии БВР на Еленинском месторождении мрамора сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Экономические показатели добычи мраморного щебня с применением БВР

Производительность карьера по горной массы ($Q_{гм}$), т/год	Выход мраморного щебня, %	Годовой объем добычи мраморного щебня ($V_{щ}$), т/год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 т мраморного щебня ($Ц_{щ}$), тыс. руб/т	Себестоимость мраморного щебня ($C_{щ}$), тыс.руб/т
756 000	78	589 680	550	380
Чистая годовая прибыль ($П_ч$), тыс.руб	100 245,6			
Рентабельность (R),%	30,9			

Результаты расчета экономических показателей добычи мраморного щебня с применением БВР в зоне 1 сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Экономические показатели добычи мраморного щебня с применением БВР в зоне 1

Объем добычи горной массы в 1 зоне карьерного поля ($Q_{гм}$), т/год	Выход мраморного щебня, %	Годовой объем добычи мраморного щебня ($V_{щ}$), т/год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 т мраморного щебня ($Ц_{щ}$), тыс. руб/т	Себестоимость мраморного щебня ($C_{щ}$), тыс.руб/т
513 000	98	502740	550	380
Чистая годовая прибыль ($П_ч$), тыс.руб	113 282,2			
Рентабельность (R),%	41			

Чистая годовая прибыль и рентабельность добычи мраморного щебня фрезерным комбайном в зоне 2 определяется по формуле:

$$П_ч = V_{щ.ф.} Ц_{щ} - V_{щ.ф.} C_{щ.ф.}, \text{ руб/год} \quad (4.7)$$

$$R = 100 П_ч / Ц_{щ} V_{щ.ф.}, \% \quad (4.8)$$

где $П_ч$ - чистая годовая прибыль, руб/год;

$V_{щ.ф.}$ – годовой объем добычи мраморного щебня фрезерным комбайном, т/год;

$Ц_{щ}$ – цена реализации (с учетом НДС) за 1 т мраморного щебня, руб/т;

$C_{щ.ф.}$ – себестоимость добычи мраморного щебня фрезерным комбайном, руб./т;

R - рентабельность предприятия, %.

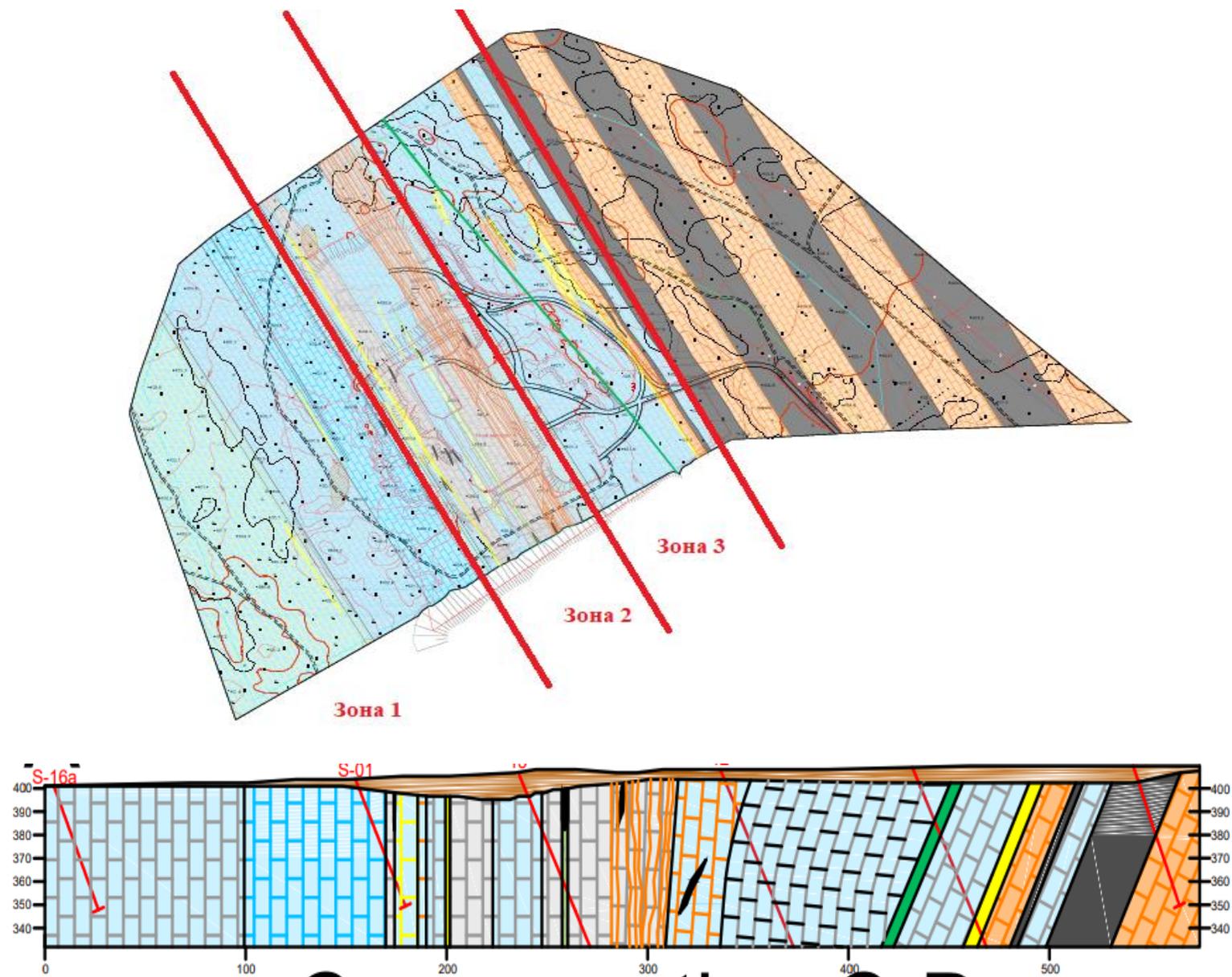


Рис 4.3 - Районирование Елинского месторождения на зоны добычи блочного камня и мраморного щебня

Результаты расчетов экономических показателей добычи мраморного щебня фрезерным комбайном в зоне 2 сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Экономические показатели добычи мраморного щебня фрезерным комбайном в зоне 2

Объем добычи горной массы во 2 зоне карьерного поля ($Q_{гм}$), т/год	Выход мраморного щебня, %	Годовой объем добычи мраморного щебня фрезерным комбайном ($V_{щ.ф.}$), т/год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 т мраморного щебня ($C_{щ}$), тыс. руб/т	Себестоимость добычи мраморного щебня фрезерным комбайном ($C_{щ.ф.}$), тыс.руб/т
162 000	86	139320	550	425
Чистая годовая прибыль ($P_{ч}$), тыс.руб	17 415			
Рентабельность(R),%	23			

Чистая годовая прибыль и рентабельность добычи мраморного щебня тяжелым гидромолотом (бутобоем) в зоне 2 определяется по формуле:

$$P_{ч} = V_{щ.б.} C_{щ} - V_{щ.б.} C_{щ.б.}, \text{ руб/год} \quad (4.9)$$

$$R = 100P_{ч} / C_{щ} V_{щ.б.}, \% \quad (4.10)$$

где $P_{ч}$ - чистая годовая прибыль, руб/год;

$V_{щ.б.}$ – годовой объем добычи мраморного щебня тяжелым гидромолотом (бутобоем), т/год;

$C_{щ}$ – цена реализации (с учетом НДС) за 1 т мраморного щебня, руб/т;

$C_{щ.б.}$ – себестоимость добычи мраморного щебня тяжелым гидромолотом (бутобоем), руб./т;

R - рентабельность предприятия, %.

Результаты расчета экономических показателей добычи мраморного щебня тяжелым гидромолотом в зоне 2 сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Экономические показатели добычи мраморного щебня тяжелым гидромолотом (бутобоем) в зоне 2

Объем добычи горной массы во 2 зоне карьерного поля ($Q_{гм}$), т/год	Выход мраморного щебня, %	Годовой объем добычи мраморного щебня тяжелым гидромолотом (бутобоем) ($V_{щ.б.}$), т/год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 т мраморного щебня ($C_{щ}$), тыс. руб/т	Себестоимость добычи мраморного щебня тяжелым гидромолотом (бутобоем) ($C_{щ.б.}$), тыс.руб/т
162 000	86	139320	550	498
Чистая годовая прибыль ($P_{ч}$), тыс.руб	7 244,6			
Рентабельность(R),%	9			

Запасы месторождения мрамора, расположенные в зоне 3, предусматривается обрабатывать с использованием алмазно-канатных машин для пиления на блоки с выходом до 14 % и дроблением кусков мрамора непригодных к выпиливанию товарного блока для производства микрокальцита.

Чистая годовая прибыль и рентабельность зоны 3 при комплексной переработке определяется по формуле:

$$P_{ч} = (V_{тов.бл} C_{тов.бл} - V_{тов.бл} C_{тов.бл}) + (V_{щ} C_{щ} - V_{щ} C_{щ}), \text{ руб/год} \quad (4.11)$$

$$R = 100P_{ч} / (C_{тов.бл} V_{тов.бл} + V_{щ} C_{щ}), \% \quad (4.12)$$

где $P_{ч}$ - чистая годовая прибыль, руб/год;

$V_{тов.бл}$ – годовой объем добычи товарных блоков, м³/год;

$C_{тов.бл}$ – цена реализации (с учетом НДС) за 1 м³ товарного блока, руб/м³;

$C_{тов.бл}$ – себестоимость товарного блока, руб/м³;

$V_{щ}$ – годовой объем некондиционного мрамора, перерабатываемого на щебень для производства микрокальцита, т/год;

$C_{щ}$ – цена реализации щебня (с учетом НДС) за 1 т, руб/т;

$C_{щ}$ – себестоимость производства микрокальцита, руб/т;

R - рентабельность предприятия, %.

Результаты расчета экономических показателей добычи в зоне 3 блочного камня алмазно-канатными машинами для пиления на блоки и дробления кусков

мрамора непригодных к выпиливанию товарного блока для производства микрокальцита сведены в таблицу 4.8.

Расчетный экономический эффект при реализации предложенных технологических решений по подготовке к выемке и добыче блочного камня и мраморного щебня с учетом районирования карьерного поля Еленинского месторождения мрамора высокой степени белизны составил 57,2 млн. руб при повышении общей рентабельности до 34%.

Таблица 4.8 – Экономические показатели добычи блочного камня алмазно-канатными машинами для пиления на блоки и дробления кусков мрамора непригодных к выпиливанию товарного блока для производства микрокальцита в зоне 3

Объем добычи горной массы в 3 зоне карьерного поля ($Q_{гм}$), м ³ /год	Выход товарного блока, %	Годовой объем добычи товарных блоков ($V_{тов.бл}$), м ³ /год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 м ³ товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс. руб/м ³	Себестоимость товарного блока ($C_{тов.бл}$), тыс.руб/м ³	Объем некондиционного мрамора на микрокальцит, ($V_{п}$), т/год	Цена реализации (с учетом НДС) за 1 т микрокальцита ($C_{п}$), тыс. руб/т	Себестоимость производства микрокальцита ($C_{п}$), тыс. руб/т
30000	14	4200	25	21	69 660	550	400
Чистая годовая прибыль ($П_{ч}$), тыс.руб.	27 249						
Рентабельность (R), %	19						

Выводы по главе 4

1. Обосновано применение технологии селективной отработки зон контактов с вредными включениями гидромолотом тяжелого класса, что обеспечивает повышение эффективности и полноту освоения балансовых запасов белого мрамора при снижении переизмельчения на 5-10% и увеличении выхода товарной продукции высоких сортов.

2. Расчетный экономический эффект от внедрений технологических решений по комплексному освоению запасов мрамора высокой степени белизны для условий месторождений «Еленинское» и «Полоцкое», составит, 57,2 и 55,3 млн руб. в год соответственно,.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано новое решение актуальной научно-практической задачи повышения полноты и комплексности освоения запасов месторождений белого мрамора путем районирования карьерного поля для применения технологий одновременной добычи блочного камня и мраморного щебня, имеющей существенное значение для горнодобывающей отрасли страны.

Основные научные и практические результаты работы:

1. В результате анализа отечественной и зарубежной практики разработки месторождений белого мрамора установлено, что применяемые технологии добычи блочного камня и мраморного щебня являются взаимоисключающими в пределах одного участка недр. Повышение полноты и комплексности отработки запасов данных месторождений достигается разработкой технологий, позволяющих в пределах карьерного поля одновременно добывать блочный камень и мраморный щебень для производства микрокальцита.

2. Установлено, что на месторождениях белого мрамора с трещиноватостью ниже III категории возможна добыча блочного камня и мраморного щебня на одном участке недр. При этом определение зонированных участков основывается на их районировании по критериям степени трещиноватости массива, блочности и белизны готовой продукции.

3. Доказано, что одновременная добыча блочного камня и фракционного щебня в пределах карьерного поля обеспечивается созданием демпферной конструкции по контакту районированных участков разработки, форма и параметры которой определяются направлением развития фронта работ в плане и по глубине.

4. Установлено, что максимальная совокупная стоимость товарной продукции, получаемой из белого мрамора, достигается применением технологий с обоснованными параметрами механической и буровзрывной подготовки,

исключающими разубоживание вредными включениями и обеспечивающими минимальный выход фракции щебня 0-20мм.

5. Доказано, что применение однорядного взрывания на карьерах белого мрамора обеспечивает увеличение объема выхода товарной продукции из взорванного блока: фракции 40-200 мм с 52 до 60%, фракции более 200 мм в 5 раз, при расширении сетки скважин до 15-29% и снижении удельного расхода ВВ до 50%.

6. В результате опытно-промышленных испытаний при использовании однорядного взрывания с обоснованными параметрами, достигнуто снижение потерь кондиционного сырья при селективной выемке до 5%, уменьшение вторичного отсева фракции 0-5 мм - до 9% и разубоживание вредными включениями – не более 4 %.

7. В работе обосновано применение безвзрывной технологии селективной отработки контактных зон гидромолотом тяжелого класса, обеспечивающей повышение эффективности и полноту освоения балансовых запасов белого мрамора путем снижения переизмельчения на 5-10% и увеличения выхода товарной продукции высоких сортов.

8. Обоснована целесообразность использования технологии механической и буровзрывной подготовки для условий месторождений «Еленинское» и «Полоцкое», расчетный экономический эффект составит, соответственно, 57,2 и 55,3 млн руб. в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акопян, Р.В. Расчетно-аналитический метод определения потерь, связанных с трещиноватостью пород при механизированной добыче блоков облицовочного камня. / Р.В. Акопян, М.С. Григорян // Труды НИИКС, Ереван: Ерев. ун-т, 1974. – №7. – С.45-47.

2. Александров, Ю.В. Определение основных закономерностей процесса разрушения межшпуровых породных целиков и установление рациональных параметров устройства для образования щелевых полостей в массиве: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Ю.В. Александров – М. – 1992. – 14 с.

3. Анощенко, Н.Н. Районирование карьерного поля по блочности на месторождениях облицовочного камня / Н.Н. Анощенко, В.Я. Стремилов // Техника и технология разработки карьерных полей: Сб. научн. трудов МГИ. – М.: МГИ. – 1983. – С.116-122.

4. Андриевский, А.П. Методика определения параметров взрывания шпуровых и скважинных зарядов, позволяющих исключить перебур и минимизировать выход негабарита / Андриевский А.П., Зуев А.Е. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: www.science-education.ru/108-9081

5. Арсентьев, А.И. Определение производительности и глубины карьеров / А.И. Арсентьев // Сб. трудов КГРИ – Киев, Гостехиздат, 1956. Вып. 5.

6. Баграмян, В.А. Исследование технологии разработки мраморных месторождений с применением канатных пил (на примере Кибик-Кордонского месторождения): автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Баграмян, В.А. – М. – 1977. – 18 с.

7. Бака, М.Т. Камень и технология/ М.Т. Бака // Камень вокруг нас, г. Реж, Свердловская область. 2001.№ 10. С.46-47.

8. Бакка, Н.Т. Геометризация качественных показателей месторождений облицовочного камня / Н.Т. Бакка // Строительные материалы. – 1988. – №9. – С.19-20.

9. Бакка, Н.Т. Прогнозирование блочности на месторождениях облицовочных гранитов горно-геометрическими методами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Бакка Н.Т. – М.: МГИ, 1975. – 14 с.

10. Барон, Л.И. Контурное взрывание при проходке выработок. / Л.И. Барон, А.В. Ключников – Л.: Наука, 1967. – 204 с.
11. Безверхая, Е.В. Обоснование условий применения способов и главных параметров технологии подземной разработки месторождений облицовочного мрамора: Дисс. ... канд. техн. наук. / Е.В. Безверхая – Красноярск. – 2003. – 156 с.
12. Бесматерных, В.А. Учет естественной трещиноватости взорванного взорванного массива при расчете грансостава / В.А. Бесматерных, В.П. Симанов // Изв. ВУЗов. Горный журнал. - 1974. № 9. - С. 88 – 94.
13. Беликов, Б.П. Облицовочный камень и его оценка. / Беликов Б.П., Петров В.П. - М.: Наука, 1977. – 138 с.
14. Берлин, Ю.Я. Материаловедение для камнеобработчиков. / Ю.Я. Берлин, Ю.И. Сычев, Л.Г. Кипнис – Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1990. – 272 с.
15. Бобович, В.С. Разработка технологии отделения монолитных блоков термическим и механическим способами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Бобович В.С. – Алма-Ата. – 1991. – 25 с.
16. Бурьянов, А.Ф. Физико-химическая природа декоративности мрамора / А.Ф. Бурьянов, В.В. Кривенко, А.Д. Жуков // Строительные материалы. 2015. № 11. С. 78.
17. Bradley, F. Marble quarrying: Technical and commercial manual. – Promorama, 1999. – 277p.
18. Бурьянов, А.Ф. Имитации мрамора / А.Ф. Бурьянов, В.В. Кривенко, А.Д. Жуков, К.С. Моисеенко, М.О. Асаматдинов // Строительные материалы. 2016. № 4. С. 102.
19. Бычков Г.В. Направления повышения эффективности технологий добычи и обработки природного камня на Урале: автореф. дисс.... докт. техн. наук – / Бычков Г.В. – Екатеринбург. 2003. – 385 с.
20. Вагин, В.С. Гидродинамический способ разделки монолитов природного камня на блоки / В.С. Вагин, М.Ю. Гуров, К.В. Исмагилов // Горные машины и автоматика. – 2006. – №3. С.15-16.
21. Вартанов, В.Г. Обоснование параметров буровзрывных работ при проведении параллельных выработок неглубокого заложения: автореф. дисс.

кандидата технических наук: 25.00.20 / Вартанов В.Г.; – Моск. гос. гор. ун-т Москва, 2007 21 с.: 9 07-2/2161.

22. Воронин, М.Н. Владимир, Боголюбово, Суздаль, Юрьев-Польский. / М.Н. Воронин – М.: Искусство, 1962. – 312 с.

23. VOLVO GROUP MAGAZINE, 2016, №5 . С. 52-55.

24. Виноградов, Ю.И. Метод расчета параметров буровзрывных работ на заданный гранулометрический состав взорванной горной массы / Ю.И. Виноградов, С.В. Хохлов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. №S1-4. С. 20-29.

25. Габбасов, Б.М. Обоснование рациональных режимов работы канатно-алмазных пил при добыче природного камня в зимних условиях: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Габбасов Б.М. – Магнитогорск. – 2008. – 19 с.

26. Габриелян Ю.С. Установление влияния взрыва на качество облицовочных блоков и плит при применении детонирующего шнура. / Ю.С. Габриелян // Науч. докл. аспирантов и соискателей НИИКС. Ереван: Ерев. ун-т, 1977. – №10. – С.49-52.

27. Гавришев, С.Е. Особенности формирования отвалов вскрышных пород для утилизации промышленных отходов / С.Е. Гавришев, И.А. Пыталев, А.А. Козловский // Горный информационно -аналитический бюллетень. 2010. № 8. С. 251–256.

28. Галушко, Ф.И. Управление качеством взрывной подготовки горной массы на основе оптимизации параметров БВР / Ф.И. Галушко, А.О. Комячин, И.Н. Мусатова // Взрывное дело. 2017. №118/75. С. 140-151.

29. Головин, К.А. Установление параметров процесса нарезания щелей в горных породах гидроабразивным инструментом: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Головин К.А. – Тула. – 1997. – 18 с.

30. ГОСТ 9479-84. Блоки из природного камня для производства облицовочных изделий. Технические условия. -М.: Изд-во стандартов, - 1984.

31. ГОСТ 9479-98. Блоки из природного камня для производства облицовочных изделий. Технические условия. -М.: Изд-во стандартов, - 1998.

32. ГОСТ 9479-98 Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. Межгосударственный стандарт. Москва, 2000 г.

33. Григорович, М.Б. Оценка месторождений облицовочного камня при поисках и разведке / М.Б. Григорович – изд. 2, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 151 с.

34. Густафссон Р. Отбойка каменных блоков в карьерах. - В кн.: Густафссона Р. Шведская техника взрывных работ. – М.: Недра, 1977. – С.260-262.

35. Carvalho J. Planning the future exploitation of ornamental stones in Portugal using a weighed multi-dimensional approach. /Carvalho J, Lopes, A. Mateus, L. Martins, M. Goulão // Resources Policy Volume 59, December 2018, Pages 298-317. doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.08.001.

36. Давтян, К.Д. Исследование эффективной технологии добычи мраморных блоков на примере карьеров Армянской ССР.: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Давтян К.Д. – М. – 1973. – 32 с.

37. Доможиров, Д. В. Обоснование рационального способа подготовки горных пород к выемке при добыче блочного камня / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, В.А. Фомин. А.А. Прохоров // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. Сборник статей по результатам Международной конференции. 2019. С. 84-93.

38. Доможиров, Д.В. Анализ способов подготовки блочного камня на карьерах уральского региона / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, А.А. Прохоров // Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов Международной технической конференции. Под редакцией Г.Д. Першина. 2018. С. 46-57.

39. Доможиров, Д.В. Обеспечение высокого качества взрывной подготовки пород к выемке при открытом способе добычи в сложных горно-геологических условиях и существенном росте масштабов работ / Д.В. Доможиров, Н.В. Угольников, Д.Б. Симаков, А.А. Прохоров // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. 2021. С. 87-88

40. Доможиров, Д.В. Аутсорсинг процесса подготовки горных пород к выемке на карьерах строительного камня при использовании ЭВВ "Сибирит" на примере ООО "Уральский сибирит". / Д.В. Доможиров, И.И. Носов, А.А. Прохоров, В.И. Носов // В сборнике: Добыча, обработка и применение природного камня Сборник научных трудов. Под редакцией Г.Д. Першина. 2016. С. 86-90.

41. Доможиров, Д.В. Пути повышения конкурентоспособности

предприятий горнорудной промышленности в современных экономических условиях / Д.В. Доможиров, Д.Б. Симаков, И.Е. Зурков. // Горный информационно-аналитический бюллетень - М.: МГГУ, 2004. - №10. С. 82-85.

42. Duan, Y. Advanced Technology for Setting Out of Blastholes and Measurements while Drilling / Y. Duan Y, D Xiong, L Yao, F. Wang, G. Xu // 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. — Australia, 2015. P. 593–598.

43. Ермолаев, А.И. Способ однорядного короткозамедленного взрывания горных пород / А.И. Ермолаев, В.В. Токмаков, А.С. Росляков, Н.А. Тетерев // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. сборник докладов VI Международной научно-технической конференции. 2017. С. 309-312.

44. Ерухимович Ю.Э. Математическое моделирование и совершенствование метода расчета эффективности процесса резания горных пород гидроабразивным инструментом: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Ерухимович Ю.Э. – Тула. – 1999. – 16 с.

45. Жуков, А.Д., Штукатурные смеси на основе глиногипса / А.Д. Жуков, В.Ф. Коровяков, Т.А. Наумов, М.О. Асаматдинов // Научное обозрение. 2015. №10. С. 98-101.

46. Зискинд, М.С. Декоративно - облицовочные камни. / М.С. Зискинд – Л.: Недра. Ленинградское отделение, 1989. – 256 с.

47. Звягинцев, Л.И. Белый камень Подмосковья. / Л.И. Звягинцев, А.М. Викторов – М.: Недра, 1989. – 118 с.

48. Звягинцев, Л.И. Подземная разработка белого камня / Л.И. Звягинцев, А.М. Викторов // Строительство и архитектура. – 1983. – № 12. – С. 32–33.

49. Злотин, В.С. Зависимость площади земельного отвода от глубины карьера / Злотин В.С. // Изв. Вузов. – 1995. – №7. – С.57.

50. Зотов, А.П. Выемка штучного камня. – В кн.: Зотова А.П. Разработка полезных ископаемых открытыми работами. –Л.-М. – Новосибирск: ГНТГИ, 1932. – С.137-143.

51. Кадеров, М.Ю. Обоснование технологии комбинированной разработки месторождений мрамора в суровых климатических условиях: дисс. ... канд. техн. наук. / Кадеров М.Ю. – Красноярск. – 2009. – 164 с.

52. Казарян, Ж.А. К вопросу повышения работоспособности баровых камнедобывающих машин при добыче камня средней прочности / Ж.А. Казарян // Совершенствование технологии, механизации и организации горных работ на карьерах. – М.: МГИ. – 1985. – С.151-156.

53. Карасев, Ю.Г. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. / Ю.Г. Карасев, Н.Т. Бакка - Санкт-Петербург: Государственный горный институт им. Г.В. Плеханова, 1997. – 428 с.

54. Карасев, Ю.Г. Природный облицовочный камень: производство, экспорт, импорт, цены / Ю.Г. Карасев, О.Ю. Карасева // Горный журнал. 1996. № 6. С. 15-17.

55. Карасев, Ю.Г. формирование технологии горных работ по структурно-технологическим зонам на карьерах облицовочного камня высокой прочности: автореф. дисс. доктора тех. наук. / Карасев Ю.Г. – Санкт-Петербург, 1993г.

56. Караулов А.Г. Обоснование оптимальных параметров технологии добычи мраморных блоков в системе “Карьер – камнеперерабатывающее производство: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Караулов А.Г. – Магнитогорск. – 2009. – 19 с.

57. Караулов, Г.А. Увеличение выхода товарных блоков за счет оптимального направления фронта работ на Редутовском месторождении мрамора. / Г.А. Караулов, Н.Г. Караулов, В.М. Сысоев, А.Г. Караулов. // Добыча, обработка и применение природного камня: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МагГТУ, 2007. –С. 71-76с.

58. Караулов, Н.Г. Строительство карьера по добыче облицовочного мрамора с применением деррик-крана / Н.Г. Караулов, Д.В. Доможиров, Н.В. Угольников, В.А. Фомин. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции. 2021. С. 6.

59. Караулов, Н.Г. Оптимизация технологических параметров добычи блочного камня алмазно-канатными пилами: дисс. ... канд. техн. наук. / Караулов Н.Г. – Магнитогорск. – 2001. – 125 с.

60. Ковалев, А.В. Направления совершенствования взрывной технологии добычи блочного камня в массиве с интенсивной трещиноватостью / А.В. Ковалев // Горные науки и технологии. 2018. № 1. С. 23-34.

61. Кокунина, Л.В. Выбор рациональных технологических параметров при подготовке к выемке блочного камня: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Кокунина Л.В. – Екатеринбург. – 2006. – 18 с.

62. Кокунин Р.В. Обоснование условий применения бестраншейного вскрытия на месторождениях природного камня: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Кокунин Р.В. – Екатеринбург. – 2006. – 17 с.

63. Косолапов, А.И. Метод прогнозирования коэффициента выхода блоков облицовочного и стенового камня / А.И. Косолапов, Н.И. Волченко, В.Н. Синьковский // Инф. листок № 559-86: МТЦ НТИП. – Красноярск, 1986.

64. Косолапов А.И. Исследование и обоснование технологии разработки нагорных месторождений облицовочного мрамора. дисс. ... докт. техн. наук. / Косолапов А.И. – Красноярск. – 1993. – 284 с.

65. Косолапов, А.И. Добыча мрамора на Кибик-Кордонском месторождении. / А.И. Косолапов, А.Ю. Невежин, М.Ю. Кадеров // Горный журнал. - 2008. - №1. - С.27-29.

66. Кутузов, Б.Н. Справочник взрывника: / Б.Н. Кутузов. – в 2 ч. – М.: Горное дело, 2014. Ч. II. Техника, технология и безопасность взрывных работ. – 304 с.

67. Кутузов, Б.Н. Безопасность взрывных работ: / Б.Н. Кутузов – М.: Горная книга. Взрывное дело, 2009.

68. Лигоцкий, Д.Н. Отработка контактных зон, с использованием гидромолотов, для снижения уровня потерь полезного ископаемого / Д.Н. Лигоцкий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 3. — С. 7—13.

69. Малышева Н.А., Сиренко В.Н. Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов / Н.А. Малышева, В.Н. Сиренко – М.: Недра. 1977. – 392 с.

70. Маляров, И.П. Оценка энергии, идущей на бесполезную (вредную) работу при взрывании одиночных зарядов ВВ / И.П. Маляров, Д.В. Доможиров // Разработка мощных рудных месторождений: Межвуз. Сб. науч. тр. - Магнитогорск, 1999. С.77-83.

71. Маляров, И.П. Энергоемкость процессов разрушения горных пород при взрывании и механическом дроблении в горно-обогательном производстве:

дисс. на соиск. учен. степени д-ра техн. наук.: / Маляров И.П. – Магнитогорск, 1990, 364 с. (Магнитогорский горно - металлургический институт).

72. Машанов, А.А. Прогнозирование трещиноватости массивов блочных строительных пород для рационального планирования горных работ (на примере Акбастау-Кзылсайского месторождения мраморизированных известняков): дисс. ... канд. техн. наук. / Машанов А.А. – Алма-Ата: КазПИ. – 1988. – 113 с.

73. Мельников, Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам: / Н.В. Мельников – М.: Недра, 1982.-414 с.

74. Методические указания по использованию энергии взрыва детонирующего шнура при добыче блоков природного камня. – Тбилиси: Госкомиздат Груз. ССР, 1978. – 33 с.

75. Михайлов, А.Е. Полевые методы изучения трещин в горных породах: / А.Е. Михайлов – М.: Госгеолтехиздат, 1956. – 132 с.

76. Моторный, Н.И. Технологические требования к оперативному картированию массивов карьеров природного камня при его добыче / Н.И. Моторный, П.Н. Назаров, В.Н. Сиренко // Строительные материалы. – 1987. – №4. – С.12-14.

77. Muller L. Der Felsbau. 1. Teil. Stuttgart, Fer. Enke Verlag, 1963.

78. Моссаковский, Я.В. Экономика горной промышленности: Учебник для вузов / Я.В. Моссаковский. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. – 525 с.: ил. ISBN 5-7418-0417-9.

79. Небезин, А.Ю. Обоснование технологии разработки месторождений облицовочного мрамора комбинированным способом: дисс. ... канд. техн. наук: / Небезин А.Ю. – Красноярск. – 2006. – 160 с.

80. Nicola Careddu, Giuseppe Di Capua, Giampaolo Siotto Dimension stone industry should meet the fundamental values of geoethics / Nicola Careddu – Resources Policy, Vol. 63, October 2019, Article 101468.doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101468.

81. Алексеев, А.М. Определение размера зоны трещинообразования при ведении взрывных работ в условиях рудника "Айхал" / А.М. Алексеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - № 10. - С. 382-388. - Библиогр.: с. 388 (7 назв.)

82. Орешкин Д.В., Семенов В.С. Современные материалы и системы в строительстве – перспективные направления обучения студентов строительных специальностей / Д.В. Орешкин, В.С. Семенов // Строительные материалы. 2014. №7. С. 92-94.

83. Орынбаев, Б. Учет трещиноватости при выборе направления разработки мраморных месторождений / Орынбаев Б. // Вестник АН КазССР. – Алма-Ата: 1974. – № 9. – С.63-68.

84. Отраслевая инструкция по определению и учету потерь нерудных строительных материалов при добыче // Госгортехнадзор СССР. Протокол N 15 от 12 июля 1973 г.

85. Paola Blasi Международные стандарты на природный камень /Камень & бизнес, - Москва. 2001. № 1. С. 10-13.

86. Першин, Г.Д. Современные способы вскрытия рабочих горизонтов при разработке месторождений мрамора / Г.Д. Першин, С.А. Голяк, М.С. Уляков, Н.Г. Караулов, И.С. Сорокин, В.Ю. Домнин, Р.Ф. Иштакбаев // Успехи современного естествознания. 2014. № 12-3. С. 225-230.

87. Першин, Г.Д. Обоснование способов комплексного использования мраморного сырья / Г.Д. Першин, Г.А. Караулов, Н.Г. Караулов, А.Г. Караулов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 1.

88. Першин, Г.Д. Оптимизация параметров забоя при добыче блочного камня с применением канатно-алмазных пил / Г.Д. Першин, Н.Г. Караулов, А.В. Афонин, Е.В. Северин // Добыча, обработка и применение природного камня: Межвуз. сб. научн.тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. –С. 54-65.

89. Першин, Г.Д. Анализ влияния режимов работы канатных пил на эффективность добычи блоков природного камня / Г.Д. Першин, М.С. Уляков // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2015. Т. 8. № 7. С. 928-940.

90. Пихлер М., А.А. Тополев Р.Б. Моргачев, Ю.Б. Панкевич М.Ю. Панкевич «Опытно-промышленные работы по безвзрывной технологии выемки доломитов комбайнами Wirtgen 2200 SM на карьере «Митино» URL: <http://www.mining-media.ru/ru/article/ogr/162-opytно-promyshlennye-raboty-po-bezvzryvnoj-tekhnologii-vyemki-dolomitov-kombajnam-i-wirtgen-2200-sm-na-karere-mitino>

91. Пихлер М., Ю.Б. Панкевич Некоторые технологические особенности работы комбайнов Wirtgen Surface Miner на открытых разработках
URL: <http://neftegaz.ru/en/science/view/536>

92. Пихлер М., С-А.А. Габаев Ю.Б. Панкевич М.Ю. Панкевич «Ввод в эксплуатацию карьерного комбайна Wirtgen 2500 SM в карьере Черногорского месторождения
ГУП «Чеченцемент»
URL: <http://www.mining-media.ru/ru/article/ogr/3584-vvod-v-ekspluatatsiyu-karernogo-kombajna-wirtgen-2500-sm-v-karere-chernogorskogo-mestorozhdeniya-gup-chechents-ement>

93. Пичугин, В.Г. Исследование технологии и механизации направленного откола мрамора гидроклиньями при добыче блоков на карьерах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Пичугин, В.Г. – М. – 1969. – 19 с.

94. Подойников С.И. Исследование технологии добычи штучного камня на гранитных месторождениях с целью увеличения производительности карьеров (на примере карьеров Ленинградской области): автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Подойников С.И. – Л.: ЛГИ. – 1977. – 18 с.

95. Природный облицовочный камень. Часть I. Облицовочные камни. Учебное пособие. – М.: МГГУ, 2000. – 362 с.

96. Пшеничная, Е.Г. Экспресс-метод оценки работоспособности НРС в лабораторных условиях / Першина Н.Г., Е.Г. Пшеничная // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. трудов. – Магнитогорск, 2008. – С. 106-113.

97. Пыталев, И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии добычи мрамора высокой степени белизны, как ответ на вызовы рынка / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, А.А. Прохоров // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. 2021. С. 54-55

98. Ракишев, Б.Р. Автоматизированное проектирование и производство массовых взрывов на карьерах / Б.Р. Ракишев – Алма-Ата: Кылым. 2016. -340 с.

99. Ракишев, Б.Р. Гранулометрический состав взорванных пород при различных условиях взрывания / Б.Р. Ракишев, А.А. Орынбай, А.М. Ауэзова, А.Е. Куттыбаев // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019;(8). С. 83-94.

100. Ржевский В.В. Открытые горные работы: Часть 2. Технология и комплексная механизация / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 552 с.
101. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ: Учебник для ВУЗов по спец. «Технология и комплексная механизация открытой разработки месторождений полезных ископаемых» / В.В. Ржевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1975. – 574 с.
102. Савельев, Г.П. Сырьевая база. Южного Урала. Ее характеристика и темпы освоения. /Камень вокруг нас, г. Реж, Свердловская область. 2004. № 7. С.42-43.
103. Сафронов, В.П. Эффективность использования оборудования для реализации безвзрывных технологий добычи известняков и доломитов.: / В.П. Сафронов, Ю.В. Зайцев, В.В. Сафронов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2015. Вып. 7. – С. 89-99.
104. Секисов Г.В. Основы технологии выемки руд при открытой разработке сложных рудных месторождений / Секисов Г.В. – Фрунзе, Илим, 1970. – 230 с.
105. Shuowei Bai, Wang, Tobias Elwert Improve sustainability of stone mining region in developing countries based on cleaner production evaluation: Methodology and a case study in Laizhou region / Shuowei Bai, Qingsong Hua, Cheng L.J., Wang Q.Y., Tobias Elwert // China Journal of Cleaner Production Vol. 20710, January 2019, Pages 929-950. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.026.
106. Стромоногов, А.В. Технология добычи блочного камня на сложноструктурных карбонатных месторождениях / А.В. Стромоногов, В.И. Супрун, Ю.Г. Агафонов // Горные науки и технологии. – 2016. – № 2. – С. 3–13.
107. Синельников О.Б., Синельников И.О. Сущность добычи блоков облицовочного камня /Камень вокруг нас, г. Реж, Свердловская область. 2002. № 19. С.20-23.
108. Синьчковский В.Н. Технология открытых горных работ. / В.Н. Синьчковский – Красноярск.: КГУ, 1989. – 376 с.
109. Смирнов, А.Г., и др. Добыча и обработка природного камня. / А.Г. Смирнов, Н.Т. Бакка, И.С. Биржишские - М.:Недра, 1990. – 445 с.
110. S. Najmedin Almasi. Predicting the Building Stone Cutting Rate Based on Rock Properties and Device Pullback Amperage in Quarries Using M5P / S. Najmedin

Almasi, Raheb Bagherpour, Reza Mikaeil, Yilmaz Ozcelik, Hamid Kalhori // Model Tree. Geotech Geol Eng. 2017, 35: pp. 1311–1326. DOI 10.1007/s10706-017-0177-0.

111. Сперанский, А.Н. Очерки истории приказа каменных дел Московского государства. / А.Н. Сперанский – М.: РАНИОН, 1930. – 221 с.

112. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Виноцкий, Н.Н. Мельников и др.-М.: Горное бюро, 1994. -590 с.

113. Справочник по открытым горным работам: / Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю., Щадов М.И. / НТЦ «Горное дело», 2010. – 725с.

114. Технические правила ведения взрывных работ в энергетическом строительстве – АО «Институт Гидропроект», 1997г.

115. Тихомиров, Н.Я. Московский Кремль. / Н.Я. Тихомиров, В.Н. Иванов – М.: Стройиздат, 1967. – 259 с.

116. ТУ 08.11.11-001-21582590-2020. Камень строительный из мрамора. Технические условия. ООО «Елена», - 2020.

117. ТУ 08.11.11-001-21582590-2020. Строительный щебень «Елена». Технические условия. Магнитогорск, - 2017.

118. Угольников, Н.В. Анализ техники и технологии производства буровзрывных работ при применении эмульсионных ВВ на карьерах Южно-Уральского региона / Н.В. Угольников, Д.В. Доможиров, А.В. Генкель // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2012. Т. 1. № 70. С. 67-70.

119. Ugolnikov, N.V., Improving the production technology of drilling and blasting operations by blasting of high ledges / N.V. Ugolnikov , D.V. Domozhurov , N.G. Karaulov, A.A. Prochorov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 966(1), 012022.

120. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» / Приказ Ростехнадзора от 11 декабря 2013 г. № 599.

121. Федотенко, В.С. Требования к качеству буровзрывной подготовки горных пород при переходе на экскаваторы с увеличенной емкостью ковша / В.С. Федотенко, В.В. Пронин // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. 2021. С. 54-55.

122. Ферсман, А.Е. Очерки по истории камня. Том 2. / А.Е. Ферсман – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 371 с.
123. Fornaro, M. Underground Stone Quarrying in Italy / M. Fornaro, L. Bosticco // Marmo Macchine International. 1994. № 6. P. 28-54.
124. Чесноков, М.М. Исследование технологии разработки мраморных месторождений с применением ударно-врубковых машин. Краткий научный отчет. / М.М. Чесноков, В.Г. Пичугин – М., 1964. – 24 с.
125. Чирков, А.С. Добыча и переработка строительных горных пород: Учебник для ВУЗов. / А.С. Чирков – М.: Издательство Московского горного государственного университета, 2001. – 623 с.
126. Чупрунов, Г.Д. Технология и комплексная механизация проведения горных выработок. / Г.Д. Чупрунов – М.: Недра, 1970. – 368 с.
127. Шестаков, В.А. Проектирование горных предприятий: Учебник для студ. Вузов. – 2-е изд. Перераб. / В.А. Шестаков - М.: Изд. МГГУ, 2003. – 800 с.
128. Эткин М. Б., Азаркович А. Е. Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве. / М.Б. Эткин, А.Е. Азаркович - М.:Изд-во МГГУ, 2004.317 с.
129. Юматов Б.П., Байков Б.Н., Смирнов В.П. Открытая разработка сложноструктурных месторождений цветных металлов. / Б.П. Юматов, Б.Н. Байков, В.П. Смирнов – М.: Недра, 1973. – 192с.
130. Ялтанец И.М., Щадов М.И. Практикум по открытым горным работам: Учеб. пособие / И.М. Ялтанец, М.И. Щадов - М.: МГГУ, 2003. – 429 с.

Приложение



ООО ЕЛЕНА

Добыча мрамора

457388, Россия, Челябинская область, Карталинский район, с.Еленинка, ул.Будаковой, д.26, пом.11
 тел.: / 3519 / 580 - 850, e-mail: office@rif-mm.ru
 р/с 40702810400000103190 Банк "КУБ" (АО) г. Магнитогорск, К/с 30101810700000000949
 БИК 047516949, ИНН 7407000102, КПП 745801001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор карьера ООО «ЕЛЕНА»

А. А. Бочкарев



15 мая 2022 г.

АКТ

внедрения материалов диссертации Прохорова Алексея Александровича
 «Обоснование параметров открытой геотехнологии для комплексного освоения
 месторождений белого мрамора»
 на ООО «ЕЛЕНА»

1. Наименование системы

Технология однорядного взрывания и механического рыхления при отработке контактных зон

2. Новизна технологического решения

Разработана технология ведения горных работ, обеспечивающая вскрытие и целенаправленную отработку участков месторождения белого мрамора для производства микрокальцита высокой степени белизны.

Предложена технология однорядного взрывания и механического рыхления для отработки контактных зон с жёлтыми (доломотизированные известняки) и темными (ожелезненные мрамора) включениями. Обоснованы оптимальные параметры однорядного взрывания, предусматривающие изменение значений сетки скважин и удельного расхода взрывчатого веществ. Определена область применения гидромолота тяжелого класса и обоснованы параметры при селективной отработке зон контактов с вредными включениями.

Внедрение технических решений в условиях Еленинского месторождения белого мрамора, с целью снижения потерь за счет переизмельчения (фракция 0-20 мм) и разубоживания кондиционного сырья позволило исключить разубоживание на контакте с вредными включениями. В результате применения технологии однорядного взрывания было достигнуто увеличение из взорванного блока объема выхода товарной продукции фракции 40-200 мм с 52 до 60%, фракции более 200 мм в 5 раз, при расширении сетки скважин до 15-29% и снижении удельного расхода ВВ до 50%, снижение потерь кондиционного сырья при селективной выемке до 5%, вторичного отсева фракции 0-5 мм - до 9% и разубоживание вредными включениями до 4 %. Применение технологии селективной отработки зон контактов с вредными включениями гидромолотом тяжелого класса, обеспечило повышение эффективности и полноту освоения балансовых запасов белого мрамора при снижении переизмельчения на 5-10% и увеличении выхода товарной продукции высоких сортов

Успешная реализация указанных технических решений позволила увеличить выход товарной продукции фракции 40-200 мм, повысить показатель белизны и снизить до минимума потери и разубоживания, что в совокупности значительно повысило полноту освоения участка недр при снижении затрат на добычу белого мрамора.

3. Место внедрения

Еленинское месторождение белого мрамора (ООО «ЕЛЕНА»)

4. Время работы после внедрения

Начало внедрения использования механической и буровзрывной подготовки – май 2021 года.

Окончание работ по использованию механической и буровзрывной подготовки – «31» декабря 2021 г.

5. Экономическая эффективность

Суммарный экономический эффект от применения однорядного взрывания и механического рыхления тяжёлым гидромолотом в период с мая 2021 по «31» декабря 2021 составило 25,72 млн. руб.