*На правах рукописи*

Уляков Максим Сергеевич

ОБОСНОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ К ВЫЕМКЕ БЛОЧНОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО КАМНЯ

Специальность: 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Магнитогорск – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном   
образовательном учреждении высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Научный руководитель: | доктор технических наук, профессор  Першин Геннадий Дальтонович | |
| Официальные оппоненты: Чирков Александр Степанович  доктор технических наук, профессор,  ФГБОУ ВПО «Московский государственный  горный университет», профессор кафедры  «Технология, механизация и организация  открытых горных работ»    Гуров Михаил Юрьевич  кандидат технических наук, доцент,  ООО «ВЕЛД» (г. Магнитогорск),  инженер проектного управления | |
|
| Ведущая организация: | ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» (г. Екатеринбург) | |

Защита состоится «26» апреля 2013 г. в 1400 час. на заседании   
диссертационного совета Д 212.111.02 при ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, малый актовый зал

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО   
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Автореферат разослан «25» марта 2013 года

Ученый секретарь

диссертационного совета Корнилов Сергей Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Анализ мирового и отечественного рынков высокопрочного камня свидетельствует о росте потребления изготавливаемых из него облицовочных изделий, строительных и дорожных конструкций. В условиях рыночной экономики для производимой из камня продукции важными являются качество и стоимость, определяемые технологией добычи, в том числе процессом подготовки блоков к выемке, на который приходится до 80 % затрат. Недоиспользование потенциала месторождений камня в России обусловлено несоответствием применяемого способа отделения блоков структурным особенностям разрабатываемого горного массива. В настоящее время для подготовки к выемке блоков из прочных пород существует достаточно много способов, основанных на применении различных видов оборудования. Шпуровой способ отделения объемов камня от массива с использованием различных распорных средств (механические и гидроклинья, шланговые ВВ, невзврывчатые разрушающие смеси НРС, газогенераторы давления шпуровые ГДШ) повсеместно применяется на «пластовых» месторождениях. Для месторождений со сложными горно-геологическими условиями залегания (с системами круто- (*δ*≥45°) и пологопадающих (*δ*<45°) трещин) такой способ подготовки блоков к выемке неэффективен из-за дорогостоящих и длительных по времени горно-подготовительных работ при промышленно нерентабельном выходе блочной продукции.

Мировой опыт ведущих в отрасли добычи высокопрочного камня предприятий свидетельствует о все более широком применении алмазно-канатных машин (АКМ) в процессе подготовки блоков камня к выемке. Гибкий алмазный инструмент позволяет отрабатывать горный массив высокими уступами, что существенно повышает выход блочной продукции. Высокоуступная технология на практике реализуется только по двухстадийной схеме, когда после отделения монолита с помощью АКМ и его опрокидывания на рабочую площадку осуществляется вторая стадия – разделка на товарные блоки. Совмещение (комбинация) камнерезного и шпурового способов отделения и разделки объемов камня соответственно на первой и второй стадиях позволяет существенно повысить эффективность добычи блочного высокопрочного камня.

Поэтому обоснование рациональных технологических параметров и режимов резания при отделении монолитов от горного массива для комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня является актуальной научно-практической задачей.

**Цель работы:** повышение эффективности процесса подготовки к выемке блочного высокопрочного камня комбинированным способом.

**Идея работы** заключается в обосновании комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня, позволяющего обеспечить высокий выход блочной продукции, повышение производительности и снижение себестоимости отделения монолитов от массива за счет выбора рационального режима работы АКМ в зависимости от высоты уступа.

**Объект исследования:** способы подготовки к выемке высокопрочного камня.

**Основные задачи исследования:**

1. Анализ современного состояния добычи камня и методологической базы эффективного применения добычного оборудования на карьерах блочного высокопрочного камня.
2. Обоснование критериев выбора способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня.
3. Исследование вариантов разработки месторождений блочного высокопрочного камня с использованием различных способов подготовки его к выемке. Определение областей применения комбинированного способа.
4. Разработка методики расчета оптимальной высоты уступа в зависимости от геометрических характеристик природных трещин горного массива.
5. Оценка влияния режима работы АКМ на производительность и себестоимость пиления.
6. Проведение промышленных испытаний на карьере с хронометражными наблюдениями за работой АКМ.

**Защищаемые научные положения:**

1. Повышение эффективности процесса подготовки блоков к выемке на месторождениях с системами круто- и пологопадающих трещин достигается при использовании комбинированного способа по двухстадийной высокоуступной схеме, когда на первой стадии от горного массива отделяется монолит с помощью АКМ, а на второй стадии, после завалки монолита на рабочую площадку, осуществляется его разделка на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения.
2. Высота уступа, как оптимальная величина, обеспечивающая повышение выхода блочной продукции, устанавливается на основе минимизации технологических потерь блочной продукции, обусловленных геометрическими характеристиками природных трещин и линейными размерами плоскостей отделения монолита от массива породы.
3. Повышение производительности отделения монолита камня от массива и снижение эксплуатационных затрат достигаются путем обоснования режима работы АКМ в зависимости от высоты уступа, при этом за критерий оценки принимается комплексный технико-экономический показатель (*сw*), характеризуемый затратами, отнесенными к производительности отделения объемов камня от массива. Выбор рационального режима работы АКМ в зависимости от высоты уступа достигается по минимальной величине этого комплексного показателя.
4. Минимальное значение предложенного комплексного показателя обеспечивается при высоте добычного уступа менее 4,5 м, когда в процессе отделения монолита предпочтение отдается режиму работы АКМ с постоянной скоростью подачи на забой. При высоте уступа более 4,5 м, когда показатель сw изменяется незначительно в зависимости от режимов работы АКМ, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания, обеспечивающий более высокую производительность отделения монолита.

**Научную новизну работы** составляют:

1. Методика и алгоритмы выбора рационального способа подготовки высокопрочного камня к выемке, учитывающие горно-геологические условия залегания (форма тела породы, пространственные характеристики систем трещин и расстояние между ними), температурную зону района месторождения, физико-механические свойства и минералогический состав породы.
2. Тригонометрическая зависимость величины технологических потерь блочной продукции от высоты уступа и геометрических характеристик природных трещин, на основании которой находится значение оптимальной высоты уступа.
3. Степенные зависимости основных показателей процесса резания (производительность, расход энергии и алмазного инструмента) от режима работы АКМ при различной высоте добычного уступа.
4. Комплексный технико-экономический показатель (*сw*), определяемый отношением эксплуатационных затрат на резание плоскостей к производительности отделения монолита от массива, позволяет выбрать по его минимальной величине рациональный режим работы АКМ в зависимости от высоты уступа: при высоте добычного уступа менее 4,5 м следует выбирать режим резания с постоянной скоростью подачи АКМ на забой; при высоте уступа более 4,5 м, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания.
5. Методика выбора рационального режима управления АКМ, учитывающая установленные зависимости производительности отделения монолита от массива и эксплуатационные затраты на его отделение в зависимости от высоты уступа.

**Методы исследований включают:** статистический анализ, расчетно-аналитический метод геометрического анализа горно-геологических условий залегания природных трещин в массиве, математическое моделирование влияния режимов работы АКМ на основные технико-экономические показатели процесса отделения монолита от массива в зависимости от высоты уступа, натурный эксперимент в опытно-промышленных условиях, хронометраж, промышленная апробация результатов.

**Достоверность положений, выводов и рекомендаций** обеспечивается представительностью и надежностью исходных данных; подтверждается сопоставимостью полученных различными методами результатов, их качественной и количественной сходимостью с практикой эксплуатации карьеров и результатами других работ.

**Практическая значимость работы** заключается в:

- выборе способа подготовки высокопрочного камня к выемке с учетом горно-геологических условий сложного залегания природных трещин в массиве;

- расчете оптимальной высоты уступа в зависимости от геометрических характеристик природных трещин горного массива;

- выборе рационального режима управления АКМ с учетом его влияния на производительность и себестоимость пиления в зависимости от высоты уступа.

Расчетный экономический эффект от внедрения полученных результатов на Юго-Восточном участке Нижне-Санарского месторождения гранодиорита составляет 21,91 млн руб. в год (в ценах 2012 года).

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач исследований, сборе необходимых данных, разработке методики выбора и технико-экономическом обосновании способа подготовки блоков к выемке для месторождений высокопрочного камня, анализе результатов исследований, организации хронометражных наблюдений за работой АКМ, обработке результатов, выполнении математических операций, апробации рекомендаций в промышленных условиях.

**Реализация работы.** Результаты работы использованы при составлении проектов на разработку Юго-Восточного и Центрального участков Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов, Суховязского месторождения гранитов и участка гранитов Малыгинский-1. Основные научные положения и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «МГТУ» для студентов специальности 130403.65 «Открытые горные работы» (специализация «Добыча и обработка природного камня») при курсовом и дипломном проектировании, а также изучении дисциплин: «Технология открытой разработки месторождения природного камня», «Производственные процессы добычи природного камня», «Производственные процессы и технология обработки природного камня» и «Основы проектирования добычи природного камня».

**Апробация работы.** Результаты, основные положения и рекомендации диссертации докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях «Добыча, обработка и применение природного камня» (Магнитогорск, 2010, 2011; Екатеринбург, 2012, 2013); 68-й, 69-й и 70-й научно-технических конференциях в ФГБОУ ВПО «МГТУ»; региональной студенческой научно-практической конференции «Студент и наука – 2012» в ФГБОУ ВПО «МаГУ»; международной научно-технической конференции «International Conference on European Science and Technology» (Висбаден, Германия, 2012) и международной научно-практической Интернет-конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2012».

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 16 печатных работах. Из них 2 – в изданиях из перечня ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация, состоящая из введения, 4 глав и заключения, изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков, 14 таблиц, библиографический список из 120 наименований и 3 приложения.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю профессору Г.Д. Першину, сотрудникам кафедр ПРМПИ и ОРМПИ ФГБОУ ВПО «МГТУ» В.Х. Пергаменту, Н.Г. Караулову и И.Т. Мельникову за поддержку, ценные советы и оказанную помощь при выполнении работы.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Исследованиям способов подготовки к выемке высокопрочного камня с обоснованием их рациональных параметров и изучению процесса резания его алмазным инструментом посвящены работы Г.В. Бычкова, М.Ю. Гурова, К.Д. Давтяна, М.А. Калинина, Ю.Г. Карасева, А.И. Косолапова, Г.Д. Першина, Е.Г. Пшеничной, О.Б. Синельникова, К.Н. Трубецкого, А.С. Чиркова и других отечественных и зарубежных ученых.

Исследованиями трещиноватости массивов природного облицовочного камня занимались: Н.Н. Анощенко, Н.Т. Бакка, Б.П. Беликов, А.А. Иванов, П.Ф. Корсаков, Н.И. Моторный, В.В. Никитин, Е.П. Окользин, В.Р. Рахимов, М.М. Чесноков, В.А. Шеков и др.

В мировом товарообороте гранитной продукции доли российского экспорта и импорта не превышают соответственно 0,1 и 0,5 %. И хотя страна обладает значительными запасами декоративного камня, по объему его добычи (0,2 млн м3/год) и потребления (0,3 млн м3/год) Россия занимает соответственно 27-е и 40-е места в мире. Среди нескольких тысяч известных месторождений и проявлений натурального камня страны, почти треть (32 %) связана с прочными породами. Более четверти (26 %) общего объема добычи гранитных блоков в России приходится на долю УрФО.

Дефицит блочной продукции камня связан, в первую очередь, с недостаточным количеством и низкой эффективностью работы действующих карьеров, малым выходом из массива готовых блоков при добыче (коэффициент выхода колеблется в пределах 0,05-0,8, составляя в большинстве случаев 0,1-0,4).

Решением может стать обоснование рационального способа отделения блоков. Его выбор зависит от климатических условий района, физико-механических свойств (прочность, анизотропия), минералогического состава (содержание кварца) камня, а также горно-геологических условий его залегания (формы тела породы, пространственных характеристик систем трещин и расстояния между ними) и проектируемой производительности.

При добыче гранитных блоков используют следующие способы подготовки к выемке: шпуровой с применением различных распорных средств (механические и гидроклинья, НРС, шланговые ВВ, ГДШ) и алмазно-канатное пиление.

Шпуровой способ подготовки блочного камня к выемке с применением клиньев оправдан на «пластовых» месторождениях с развитыми системами вертикальных продольных и поперечных трещин массива. В этом случае работы ведутся по одностадийной схеме с учетом расположения трещин, что обеспечивает достаточно удовлетворительный выход товарной продукции. С увеличением глубины карьера, как правило, мощность пластов увеличивается, и применение клиньев становится невозможным из-за диагональных сколов при отрыве объемов камня от массива. На пластах, мощностью более 1,5-2 м, в качестве распорных средств применяют шланговые ВВ, ГДШ и НРС (рис. 1).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 1. Расчетная себестоимость добычи блоков на примере Мансуровского месторождения гранита при различных способах подготовки камня к выемке (производительность 24 тыс. м3 в год по горной массе):**  **1** – шпуровой с применением мех. клиньев; **2** – шпуровой с применением НРС; **3** – комбинированный (АКМ + шпуровой); **4** – шпуровой с применением «К-трубок»; **5** – с применением АКМ (на 1-ой и 2-ой стадиях); **6** – шпуровой с применением ГДШ |

Распорным средствам динамического воздействия (шланговые ВВ, ГДШ и др.) присущ общеизвестный недостаток – появление наведенной трещиноватости в околошпуровой зоне, что снижает выход товарных блоков на гранитных месторождениях с средней и выше средней прочностью пород. По данным распиловки, предоставленным ООО «Техногранит» (г. Челябинск), при использовании зарядов ГДШ для добычи камня, в 1,5-2 раза снижается цена реализации блоков и выход продукции из них.

Статическое распорное действие НРС на стенки шпуров достигает значений порядка 1 МПа (1000 кг/см2), но при этом в околошпуровой зоне не вызывает дополнительной трещиноватости массива, снижающей выход блоков. Однако применение воды для приготовления смеси НРС при температуре ниже -10 °С приводит к несрабатыванию НРС, что осложняет применение этих составов в зимний период.

Впервые научное обоснование применения АКМ при добыче высокопрочного камня приведено в работах к.т.н. М.Ю. Гурова. При этом рассматривались способы подготовки к выемке блоков из массива на «пластовых» месторождениях по одно- и двухстадийной схемам, когда высота уступа принималась равной или кратной расстоянию между первично-пластовыми трещинами. В этом случае реализация двухстадийной схемы осуществлялась без опрокидывания монолита на рабочую площадку для его разделки на товарные блоки. При расчете оптимальной высоты уступа коэффициент выхода блоков условно принимался равным единице. Выводом стала экономическая целесообразность применения АКМ только для высокодекоративных гранитов при оптимальной высоте уступа от 1,5 до 2,5 м (в зависимости от прочности породы).

В работах к.т.н. М.А. Калинина установлена зависимость производительности алмазно-канатного пиления от комплексной твердости природного камня. На основании установленной зависимости произведена классификация прочных пород по эффективности их пиления АКМ. В основе предложенной им методики выбора способа подготовки к выемке блоков прочных пород находится условие максимального значения чистого дисконтированного дохода и минимизации технологических потерь, пропорциональных площадям отделения монолитов от массива с учетом толщины создаваемой щели.

Исследованиями (рис. 1) установлено, что для «пластовых» месторождений на уступах высотой более 1,5-2 м в наибольшей степени удовлетворяет условию минимизации себестоимости комбинированный способ по двухстадийной высокоуступной схеме, когда на первой стадии от горного массива отделяется монолит с помощью АКМ, а на второй стадии, без завалки монолита на рабочую площадку, осуществляется его разделка на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения. Это связано с увеличенными (по сравнению со шпуровым способом) выходом и качеством блоков.

Таким образом, на «пластовых» месторождениях при расстояниях между постельными трещинами до 1,5-2 м рационально применение шпурового способа отделения камня с использованием механических клиньев, а при больших расстояниях – комбинированного (рис. 2).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 2. Схема реконструкции юго-западного участка Мансуровского карьера с переходом на комбинированный способ разработки (производительность 24 тыс. м3 в год по горной массе): 1** – нижний добычной горизонт, отрабатываемый АКМ; **2** – автокран; **3** – съезды в карьере; **4** – горный отвод; **5** – временный защитный вал из глинистых пород; **6** – временный склад блоков; **7** – погрузчик |

Среди разрабатываемых месторождений магматических горных пород не все имеют «пластовое» залегание с горизонтальными или близкими к горизонтальным трещинами разрыва. В большинстве случаев «пластовые» отдельности имеют пологое залегание, а вертикальные продольные и поперечные трещины трансформируются в системы крутопадающих трещин. Для данных месторождений, характеризуемых сложным горно-геологическим залеганием полезного ископаемого, в качестве основного критерия экономической целесообразности разработки принимается выход из массива блоков заданного объема при минимальной их себестоимости. В данной работе приведено технико-экономическое обоснование способа подготовки к выемке блоков высокопрочного камня на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания в виде нескольких систем круто- и пологопадающих природных трещин (рис. 3).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 3. Расчетная себестоимость**  **добычи блоков типовых месторождений с круто- и пологопадающими системами трещин при различных способах подготовки камня**  **к выемке:**  **1 – комбинированный (АКМ + шпуровой); 2 – с применением АКМ**  **(на 1-ой и 2-ой стадиях);**  **3 – шпуровой с применением мех. клиньев и НРС; 4 – шпуровой с применением ГДШ; 5 – буровзрывной** |

Для научного обоснования выбора рационального способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня разработана методика, основанная на условии обеспечения максимального выхода блоков из массива при минимальной их себестоимости (рис. 4). Выполнение данного условия зависит главным образом от высоты уступа и режимов резания при отделении монолитов камня от горного массива, рассмотренных ниже.



**Рис. 4. Блок-схема выбора рационального способа подготовки к выемке**

**при разработке месторождений блочного высокопрочного камня**

Результаты анализа (рис. 3) и опыт ведущих отечественных и зарубежных предприятий свидетельствует, что на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания наименьшая себестоимость подготовки камня к выемке и максимально возможный выход товарных блоков достигается за счет использования высокоуступной двухстадийной схемы отработки массива, когда на первой стадии от массива отделяется монолит с помощью АКМ, а на второй – опрокинутый на рабочую площадку монолит разделывается на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения и механических клиньев (рис. 5).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 5. Схема разделки опрокинутого монолита на товарные блоки шпуровым способом (2-я стадия) на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания** |

Учитывая, что неортогональность крутопадающих плоскостей продольных и поперечных трещин не превышает 15 град, пассировочные работы шпуровым способом по устранению косоугольности блоков по данным плоскостям не предусматривается. Тогда общий объем шпуровых работ на разделочно-пассировочных операциях (2-ая стадия) составит:

, (1)

где *nк* – количество отдельностей, заключенных между плоскостями крутопадающих трещин массива, в пределах линейного размера рассматриваемого монолита, шт.; *lк* – расстояние между плоскостями в крутопадающих системах трещин, м; *B* – ширина монолита, м; *lшп* – расстояние между шпурами, м.

С технологической точки зрения, важнейшей является задача определения оптимальной высоты уступа (*),* которая может быть найдена из условия минимальных технологических потерь блочной продукции, т. е. из условия максимального выхода товарных блоков. Согласно ГОСТ 9479-98 за технологические потери принимаются все объемы камня, составляющие монолит, которые не вписываются в форму прямоугольного параллелепипеда или близкую к нему. Для оценки влияния на них природной трещиноватости принимается модель, предложенная проф. Г.Д. Першиным. Согласно ей высота монолита определяется расстоянием, кратным природным отдельностям второй системы трещин, а длина *–* расстоянием, кратным отдельностям первой (основной) и второй систем трещин. В этом случае численные расчеты высоты и длины ведутся на основании плоской модели, в которой проекции прямоугольных параллелепипедов на фронтальную плоскость монолита преобразуются в прямоугольники. Из плоской модели, разработанной проф. Г.Д. Першиным, для встречно-направленных трещин первой и второй систем следует:

, (2)

, (3)

, (4)

где *nп* – количество отдельностей, заключенных между плоскостями пологопадающих трещин массива, в пределах линейного размера рассматриваемого монолита, шт.; *к,* *п* и *γ* – углы падения плоскостей круто- и пологопадающих трещин и угол между ними, град; *lп* – расстояние между плоскостями в пологопадающих системах трещин, м; – коэффициент относительных технологических потерь блочной продукции.

На основании плоской модели автором предложено записать суммарные относительные технологические потери блочной продукции и как функцию высоты уступа (2), в результате выражение (4) примет следующий вид:

. (5)

Нахождение экстремумов технологических потерь по условию

(6)

дает зависимость для расчета оптимальной (с минимальными технологическими потерями) высоты уступа:

. (7)

Определение оптимальной высоты уступа позволяет найти из (3) рациональную длину монолита как:

. (8)

Из (7) и (8), каждому целочисленному значению *nк* при заданной характеристике трещиноватости массива соответствует оптимальное значение высоты уступа и рациональная величина длины монолита, которым отвечает условие минимальных технологических потерь блочной продукции, т. е. максимум выхода блоков (рис. 6).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 6. Зависимость длины монолита и оптимальной высоты уступа от количества крутопадающих отдельностей для Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиорита (*δк*=68°, *γ*=65°, *lк*=1,9 м, *lп*=2 м)** |

Для оценки влияния режима работы АКМ на себестоимость пиления необходимо так же определить рациональную ширину монолита (*B*). Она находится из условия наибольшего выхода блоков из монолита и возможности его опрокидывания на рабочую площадку. Применительно к горно-геологическим характеристикам трещиноватости Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиорита (*δк=*68°*, γ=*65°*, lк=*1,9 м*, lп=*2 м)по разработанной методике рассчитаны рациональные размеры отделяемого монолита: *=*5,6 м*, Lм=*8,4м*, Bм=*1,7м (для *nк=*3); *=*6,2 м*, Lм=*10,7 м*, Bм=*1,7 м (для *nк=*4).

На технико-экономические показатели резания камня при отделении от массива монолита влияют его линейные размеры (*H*, *L*, *B*) и режимы работы АКМ. Экономическая оценка работы АКМ произведена с учетом производительности резания, удельного расхода электроэнергии и алмазного инструмента. Удельные эксплуатационные затраты (руб./м2) на отделение монолита от массива с помощью АКМ при этом определяются по зависимости:

, (9)

где *Со*, *Сэ*, *Си* – стоимости соответственно работы канатной пилы (руб./ч), электроэнергии (руб./кВт∙ч), алмазного инструмента (руб./карат); *Kио*= 0,75 – расчетный коэффициент использования АКМ во времени; *П* – техническая производительность АКМ, м2/ч; *b* – ширина пропила (диаметр алмазорежущей втулки гибкого инструмента), м; *А* – удельная работа резания, кДж/м3;   
*R* – удельный расход алмазного инструмента, м3/м3; – содержание алмазов в единице объема алмазонесущего слоя инструмента, карат/м3.

Первым слагаемым уравнения (9) являются прямые затраты на 1 машино-час работы АКМ (*САО+ЗП*); вторым – затраты на электроэнергию, потребляемую двигателем в процессе резания (*СЭЭ*), а третьим – затраты, связанные с расходом алмазного инструмента (*САИ*).

В настоящее время применяются две схемы управления работой АКМ. В первой из них заданием на пульте управления силы тока определенной величины выдерживается постоянная мощность главного привода (*N=const*) через изменение скорости подачи тележки машины (*Vп=var*). С изменением скорости подачи пропорционально изменяется и силовой режим резания, т. е. величина контактного давления инструмента на породу (*σn=var*).

Во второй схеме тележке АКМ задается постоянная скорость перемещения (*Vп=const*). В режиме постоянной скорости подачи обеспечивается неизменным контактное давление инструмента на породу (*σn=const*). Если при этом выдерживается такое давление *σnоп*, которому соответствует минимальный удельный расход алмазного инструмента, то реализуется алмазосберегающий режим распиловки (рис. 7).

Применяемые схемы управления работой АКМ влияют только на силовой режим резания. В первой схеме он переменный, а во второй – постоянный во времени. Силовой режим определяет и производительность резания, и мощность главного привода камнерезной машины, влияющие на удельное энергопотребление и расход дорогостоящего алмазного инструмента. Определяющим показателем любой камнерезной машины является ее производительность, а остальные технико-экономические показатели во многом производны от нее. Применительно к существующим схемам управления работой алмазно-канатной машины, на основе энергетической теории поверхностного разрушения горных пород алмазно-абразивным инструментом, разработана методика оценки ее производительности. Исходным уравнением для дальнейших расчетов является взаимосвязь основных показателей процесса резания:

, (10)

где *N* – мощность, потребляемая главным приводом АКМ, Вт.

Для алмазного инструмента при распиловке различных горных пород функциональная зависимость *А* от *σn*  (МПа) имеет вид (рис. 7):

, (11)

где *К* – зависящий от физико-механических свойств породы коэффициент пропорциональности (МПа1,5); *σn* – давление инструмента на породу, МПа.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 7. Зависимости удельного расхода алмазного инструмента (*R*) и удельной работы резания (*A*) от нормального контактного давления (*σn*) для пород с *σсж*=100-120 МПа** |

Численное значение коэффициента *K* может быть получено на основе стендовых испытаний при резании гранитов алмазно-дисковым инструментом. В результате проведения этих испытаний и обработки экспериментальных значений *А* от *σn* для Мансуровского гранита получено значение *К*=820 МПа1,5 (*σсж=*100-120 МПа).

Для алмазосберегающего режима работы АКМ максимальная производительность определяется выражением

, (12)

где *hпр* – высота пропила, м; *φд* – дополнительный угол охвата, рад; *µрас* и *kп* – коэффициенты распиловки и прерывистости режущей поверхности; *Vp* – скорость распиловки (скорость движения гибкого режущего органа), м/с.

Максимальная высота пропила находится из уравнения

, (13)

где *Dшк* – диаметр ведущего шкива, м; *kф* – коэффициент формы плоскостей отделения монолита от массива, определяется отношением длины плоскости пропила к ее высоте (для *kф*≥1 имеем *hпр*=*Hу*, для *kф*<1 имеем *hпр*<*Hу*).

Средняя производительность АКМ по ее максимальному значению (12) рассчитывается согласно методике проф. Г.Д. Першина:

, (14)

где *Км<1* – коэффициент влияния геометрии плоскости отделения монолита на среднюю производительность резания от ее максимального значения.

Для *kф*≥1, что соответствует, как правило, продольной плоскости отделения, имеем

. (15)

Для *kф*<1, что соответствует, чаще всего, поперечной плоскости отделения, имеем

. (16)

Общее решение по определению производительности АКМ, работающей в режиме *N=const*, находится для случая переменной во времени величины контактного нормального напряжения интегрированием дифференциальной формы записи выражения производительности (10) с учетом (11):

. (17)

Пределы интегрирования, соответствующие минимальному и максимальному значениям контактных нормальных напряжений, определяются с учетом максимальной () и минимальной () длины контакта

; , (18)

из выражения мощности резания

, (19)

где *lk* – длина контакта инструмента с породой, м.

Подстановкой (18) в (19) получается:

; . (20)

Результат интегрирования (17) с учетом пределов (20) дает:

. (21)

Зависимость (21) получена при отсутствии участка стационарного пиления (*kф*<1), когда длина контакта инструмента с породой есть переменная величина. При отделении монолита по продольной плоскости (*kф=L/H*≥*1,* ) необходимо учитывать стационарность процесса пиления по отношению к длине контакта инструмента с породой. В этом случае производительность в режиме постоянной мощности находится как средневзвешенная величина:

, (22)

где – время нестационарного пиления плоскости отделения, ч; – время стационарного пиления плоскости отделения, ч.

На рис. 8 представлено отношение производительностей резания АКМ, управляемой по рассмотренным выше силовым режимам.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 8. Зависимость отношения производительностей резания при различных режимах работы АКМ от высоты уступа** |

При этом, начиная с высоты уступа 2-4 м, производительность резания в режиме *N=const* по отношению к режиму *VП=const* возрастает по степенной зависимости в соответствии с формой плоскости отделения. Так, при высоте уступа =5,6 м отношение производительностей составляет 1,7-2,4 в зависимости от величины коэффициентов *Км* и *kф*.

Подстановкой полученного оптимального значения высоты уступа (7) в (18) находится наибольшая мощность двигателя АКМ согласно (19) (реализуется при резании продольной плоскости, когда *kф*≥*1 и* ). Полученное значение N=25,47 кВт (для условий распиловки гранодиорита Нижне-Санарского месторождения) удовлетворяет характеристикам АКМ с мощностью двигателя 37 кВт при загрузке их на 69 %.

Реализуемое в процессе резания энергопотребление при расчете удельных затрат по (9) определяется согласно режимам работы АКМ:

для 1<*kф*≥1: ; (23)

для *kф*<1: (24)

для *kф*≥1: . (25)

Средняя удельная работа резания (в режиме *N=const*) по отношению к удельной работе резания, соответствующей (в режиме *VП=const*), возрастает в соответствии с формой плоскости отделения (рис. 9).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 9. Зависимость отношения среднего (в режиме *N=const*) и соответствующего**  **(в режиме *VП=const*) значений удельной работы резания от высоты уступа** |

Так, при высоте уступа =5,6 м отношение удельных работ составляет 1,50-1,55 в зависимости от величины коэффициента *kф*.

Удельный расход алмазного инструмента (*R*), как и удельная работа резания (*A*), может быть получен на основе стендовых испытаний. Для дальнейших расчетов были приняты экспериментальные данные к.т.н. К.Г. Лусиняна по резанию алмазным инструментом природного камня различной прочности. В результате обработки экспериментальных точек получена аппроксимирующая зависимость *R*от *σn*:

, (26)

решение которой при условии дает оптимальное контактное давление . Его подстановка в (26) и определяет расход алмазного инструмента в режиме *VП=const*:

для 1<*kф*≥1: . (27)

Численные значения аппроксимирующих размерных коэффициентов -1,46\*10-5, 0,376\*10-5 МПа, 10,5\*10-5 1/МПа были получены при резании природного камня с *σсж=*120-140 МПа. Для режима *N=const* удельный расход может быть получен как средняя интегральная величина:

для *kф*<1: . (28)

При отделении монолита по продольной плоскости удельный расход инструмента в режиме постоянной мощности находится как средневзвешенная величина:

для *kф*≥1: . (29)

Среднее значение удельного расхода алмазного инструмента (в режиме *N=const*) по отношению к минимальному (в режиме *VП=const*) возрастает в соответствии с формой плоскости отделения (рис. 10).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 10. Зависимость отношения среднего (в режиме *N=const*) и минимального (в режиме *VП=const*) значений удельного расхода алмазного инструмента от высоты уступа** |

Так, при высоте уступа =5,6 м отношение значений удельного расхода алмазного инструмента составляет 1,9-2,9 в зависимости от величины коэффициента *kф*.

По формуле (9) были рассчитаны удельные эксплуатационные затраты на резание плоскостей отделения монолита от массива, что позволило представить в графическом виде их отношения при различных режимах работы АКМ в зависимости от высоты уступа (рис. 11).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Рис. 11. Зависимость отношения удельных эксплуатационных затрат на резание плоскостей при различных режимах работы АКМ от высоты уступа** |

Удельные эксплуатационные затраты на резание плоскостей в режиме *N=const* по отношению к режиму *VП=const* возрастают (см. рис. 11) в соответствии с формой плоскости отделения. Так, при высоте уступа =5,6 м отношение Сs(N)/Сs(V)  составляет 1,0-1,8 в зависимости от величины коэффициента *kф*.

Основным результатом проведенных исследований и полученных зависимостей (см. рис. 8-11) влияния силового режима на технико-экономические показатели является вывод о неоднозначном вкладе в эксплуатационные затраты производительности, энергопотребления и расхода алмазного инструмента при резании. Так как силовой режим в пределах заданной мощности главного привода канатной пилы связан с высотой пропила (уступа), то с практических позиций целесообразнее полученные технико-экономические показатели представлять в виде функциональных зависимостей от высоты уступа для различных режимов работы АКМ.

Анализ таких итоговых показателей, как производительность отделения монолита от массива (рис. 12, а) и эксплуатационные затраты на отделение (рис. 12, б) в зависимости от высоты уступа для различных режимов работы АКМ не позволяет выделить преимущества одного режима работы АКМ от другого, так как повышение производительности отделения монолита сопровождается повышением эксплуатационных затрат на его отделение при работе в режиме постоянной мощности резания и, наоборот, когда снижению эксплуатационных затрат соответствует понижение производительности, если АКМ работает в режиме постоянной скорости подачи.

В этом случае корректная оценка зависимости режима работы АКМ от высоты уступа может быть дана на основе комплексного технико-экономического показателя:

, (30)

где – эксплуатационные затраты на отделение монолита от массива, тыс. руб.; – производительность отделения монолита от массива, м3/ч.

Тогда выбор режима работы АКМ в зависимости от высоты уступа осуществляется по минимальной величине предложенного комплексного показателя (рис. 12, в).

б

а

|  |  |
| --- | --- |
| в |  |
|  | **Рис. 12. Зависимость от высоты уступа**  **(при различных режимах работы АКМ):**  **а – производительности отделения монолита от массива с помощью АКМ (*W/t*, м3/ч);**  **б – эксплуатационных затрат на отделение монолита от массива (*∑C*, тыс. руб.);**  **в – комплексного технико-экономического показателя (*cw*, руб.\*ч/м3)** |

Как видно из рис. 12, в, при отделении монолита с высотой добычного уступа менее 4,5 м предпочтение следует отдавать режиму с постоянной скоростью подачи АКМ на забой. При высоте уступа более 4,5 м, когда показатель *сw* изменяется незначительно от режима работы АКМ, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания, обеспечивающий более высокую производительность отделения монолита.

Организационно-технические мероприятия, представленные в диссертационном исследовании, позволяют повысить эффективность работы действующих карьеров (увеличить качество и выход блочной продукции, уменьшить себестоимость ее добычи за счет снижения эксплуатационных затрат). Расчетный экономический эффект от их внедрения на Юго-Восточном участке Нижне-Санарского месторождения гранодиорита составляет 21,91 млн руб. в год (в ценах 2012 года).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В законченной научно-квалификационной диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача по обоснованию рациональных технологических параметров и режимов резания при отделении монолитов от горного массива для комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня. Основные результаты проведенных исследований отражаются выводами:

1. На «пластовых» месторождениях с межтрещинным расстоянием до   
   1,5-2 м рационально применение буроклинового способа по одностадийной схеме отделения камня от массива. С увеличением мощности пластов повышение эффективности достигается за счет применения комбинированного способа по двухстадийной схеме, когда на первой стадии отделение монолита от горного массива осуществляется с помощью АКМ, а на второй – производится разделка его на блоки буроклиновым способом.
2. Совершенствование процесса подготовки блоков к выемке на месторождениях с системами круто- и пологопадающих трещин достигается за счет использования комбинированного способа по двухстадийной высокоуступной схеме, когда на первой стадии от горного массива отделяется монолит с помощью АКМ, а на второй стадии, после завалки монолита на рабочую площадку, осуществляется его разделка на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения.
3. Разработана методика выбора рационального способа подготовки блоков высокопрочного камня к выемке для конкретного участка отрабатываемого месторождения с учетом горно-геологических условий залегания, температурной зоны района месторождения, физико-механических свойств и минералогического состава породы.
4. Получена зависимость величины технологических потерь блочной продукции от высоты уступа и геометрических характеристик природных трещин горного массива. Путем дифференцирования данной зависимости как условия, обеспечивающего повышение выхода блоков, определена оптимальная высота уступа, в соответствии с которой находятся высота и длина монолита. По разработанной методике для горно-геологических условий Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов рассчитаны рациональные линейные параметры отделяемых монолитов. При наличии в пределах длины монолита 3-х и 4-х отдельностей, заключенных между плоскостями крутопадающих трещин, его линейные параметры должны составлять: *Нм*=5,6 м, *Lм*=8,4 м, *Bм*=1,7 м и *Нм*=6,2 м, *Lм*=10,7 м, *Bм*=1,7 м.
5. Производительность отделения монолита от массива с помощью АКМ, работающей в режиме постоянной мощности резания, при высоте уступа   
   5-13 м повышается в 1,2-3 раза по сравнению с режимом постоянной скорости подачи АКМ на забой. Одновременно повышаются во столько же раз и эксплуатационные затраты на отделение монолита, что не дает основания по данным показателям выявить преимущества одного режима над другим.
6. С целью обоснования режима работы АКМ в зависимости от высоты уступа за критерий оценки предложено принимать комплексный технико-экономический показатель (*сw*), характеризуемый затратами, отнесенными к производительности отделения объемов камня от массива. Выбор рационального режима работы АКМ от высоты уступа достигается путем минимизации величины этого комплексного показателя.
7. Для отделения монолитов камня от массива при высоте добычного уступа менее 4,5 м следует выбирать режим резания с постоянной скоростью подачи АКМ на забой. При высоте уступа более 4,5 м, когда показатель *сw* изменяется незначительно в зависимости от режима работы АКМ, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания, обеспечивающий более высокую производительность отделения монолита.
8. Расчетный экономический эффект от внедрения полученных результатов на Юго-Восточном участке Нижне-Санарского месторождения гранодиорита составляет 21,91 млн руб. в год (в ценах 2012 года).

Основные положения диссертации опубликованы:

*В изданиях, включенных в перечень ВАК РФ:*

1. Уляков М.С. Обоснование способов подготовки к выемке блочного природного камня высокой прочности / Першин Г.Д., Уляков М.С. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2010. – №4. – С.14-19.
2. Уляков М.С. Выбор оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов / Дубровский А.Б., Уляков М.С. // Горный журнал. – 2011. – №5. – С. 67-70.

*В научных сборниках и материалах конференций:*

1. Уляков М.С. Исследование типа выемочно-погрузочного оборудования и способа подготовки к выемке природного камня / Караулов Н.Г., Долговых Ю.В., Абдурахимов Ю.В., Уляков М.С. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – С. 69-81.
2. Уляков М.С. Эксплуатирующиеся месторождения природного камня высокой прочности на Урале. Их типизация / Уляков М.С. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – С. 131-139.
3. Уляков М.С. Выбор технологии и оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов / Дубровский А.Б., Уляков М.С. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 59-68.
4. Уляков М.С. Особенности применения карьерных погрузчиков при добыче блочного камня высокой прочности / Уляков М.С. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 69-75.
5. Уляков М.С. Логистика перевозок блоков гранодиорита Нижне-Санарского месторождения / Деев Д.И., Уляков М.С. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 122-131.
6. Уляков М.С. Опыт освоения и разработки Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов / Першин Г.Д., Дубровский А.Б., Уляков М.С. // Камень вокруг нас. – 2011. – № 28. – С. 32-37.
7. Уляков М.С. Анализ существующих технологических схем добычи гранитных блоков / Першин Г.Д., Уляков М.С. // Камень вокруг нас. – 2011. – № 29. – С. 26-30.
8. Уляков М.С. Влияние режима управления работой канатной пилы на ее производительность / Першин Г.Д., Пшеничная Е.Г., Уляков М.С. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 54-63.
9. Уляков М.С. Технико-экономическое обоснование технологии добычи природного камня высокой прочности / Пшеничная Е.Г., Горбатова Е.А., Караулов Н.Г., Уляков М.С. // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 4-18.
10. Уляков М.С. Методика выбора технологии добычи природного камня высокой прочности с учетом трещиноватости массива / Пшеничная Е.Г., Уляков М.С. // Камень вокруг нас. – 2012. – № 32. – С. 21-27.
11. Уляков М.С. ООО «Санарский гранит» / Уляков М.С., Арефьева О.А. // Камень вокруг нас. – 2012. – № 33. – С. 20-23.
12. Ylyakov M.S. Analysis of the methods of opening horizons for the development of the natural stone deposits of the Chelyabinsk region / Karaulov N.G., Ylyakov M.S., Tatarnikov A.A. // European Science and Technology [Text]: materials of the III international research and practice conference, Vol. I, Munich, October 30-31, 2012 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2012. – S. 168-173.
13. Уляков М.С. Совершенствование процесса подготовки к выемке высокопрочного камня на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания / Уляков М.С. // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Вып. 4. – Т. 8. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 49-59.
14. Уляков М.С. Повышение эффективности процесса подготовки к выемке высокопрочного камня на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания / Першин Г.Д., Уляков М.С. // Камень вокруг нас. – 2013. – № 34.– С. 25-28.