РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.352.1:622.22

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ДОБЫЧИ БЛОЧНОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО КАМНЯ

Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В статье приводится анализ технологических схем добычи гранитных блоков в Финляндии, Италии, Португалии, Испании и России. Предложена идея увеличения выхода товарных блоков из породного массива путем минимизации технологических потерь блочной продукции на месторождениях со сложным залеганием природных отдельностей, ограниченных системами круто- и пологопадающих трещин. Разработана методика расчета рациональных технологических параметров комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания полезного ископаемого на основе высокоуступной двухстадийной схемы отработки массива, когда на первой стадии отделяется монолит с помощью алмазно-канатной машины, а на второй – опрокинутый на рабочую площадку монолит разделывается на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения.

Ключевые слова: алмазно-канатная машина, производительность, гранитные блоки, первичный монолит, вторичный монолит, демпферная подсыпка, горизонтальный рез, параметры монолита, высота уступа, трещиноватость массива.

Введение

Добычу гранитных блоков открытым способом осуществляют по трем схемам: одно-, двух- и трехстадийной. Выбор той или иной схемы зависит от размеров содержащихся в массиве природных блоков камня, которые определяются показателями трещиноватости. На практике в большинстве случаев число стадий составляет две или три [1, 2].

Одностадийная схема предусматривает получение готовой продукции после отделения блока от массива (1–10 м^3). Этой операцией достигается выемка блоков заданных размеров и формы, близкой к стандартной. В настоящее время такая схема применяется редко. Необходимость двух- и трехстадийной добычи связана с большими размерами добываемых блоков (монолитов) при использовании природной трещиноватости массива. Отделенный от массива монолит в этом случае отличается от требуемых техническими условиями размеров и должен подвергнуться разделке на блоки необходимых размеров и формы.

Технические и технологические разработки

Технология двухстадийной добычи блоков включает два этапа: отделение от массива монолита объемом 80–800 м^3 и вторичную разделку.

В случае, когда продольные и поперечные системы трещин близки к вертикальному направлению, а постельно-пластовые трещины имеют горизонтальное или слабонаклонное (угол падения до 5 град) залегание, разделение производится без опрокидывания **(рис. 1)**.

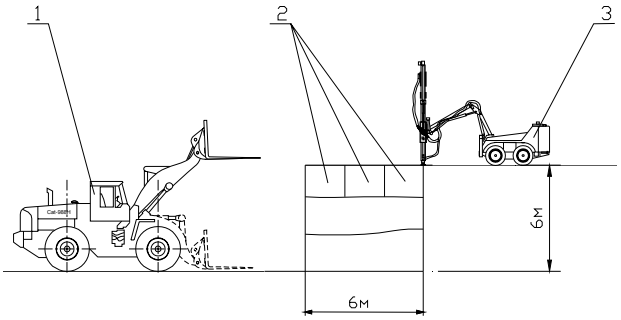

Рис. 1. Схема отделения и разделки монолита на товарные блоки без опрокидывания на Мансуровском месторождении гранита (Россия, республика Башкортостан): 1 – погрузчик, 2 – блоки, 3 – буровая самоходная установка DC 120

Рассмотрим подробнее двухстадийную схему добычи монолитов камня без их опрокидывания на примере месторождение гранита Kuru Grey **(рис. 2)**. Месторождение расположено вблизи города Тампере (Финляндия) и разрабатывается с 1950 года. При годовой производительности по товарным блокам 4500 м^3 в год на карьере работают всего три человека: водитель погрузчика,

операторы буровой установки DC120 и ручного пневмоперфоратора. Они же могут выполнять и другие работы. Получается, что на одного горного рабочего приходится 1500 м^3 товарных блоков в год, в то время как наиболее высокий показатель на российских гранитных карьерах (Мансуровский, Западно-Султаевский) составляет 200–300 м^3 [3, 4].

Рис. 2. Месторождение гранита Kuru Grey (Финляндия, г. Тампере)

Система разработки – углубочно-сплошная, добыча блоков осуществляется горизонтальными и слабонаклонными слоями-уступами. Параметры отделяемого монолита: длина 40–60 м, высота 1–2 м, ширина 1–1,5 м. Отрезная щель создается буровой установкой Sandvik (рекомендуется буровой станок Sandvik DC 700, оснащенный гидроперфоратором HL710, глубина бурения до 29 м, диаметр скважин от 64 до 102 мм). При проходке отрезной щели сначала работают коронками диаметром 89 мм, далее 76 (меньшим диаметром рациональнее добуривать). С помощью самоходной буровой установки DC120 (глубина бурения до 9 м, диаметр шпуров 24–45 мм, оборудована гидроперфоратором HEX1) бурятся шпуры диаметром 24 мм с интервалом 30 см. Месторождение вскрыто двумя внешне-внутренними общими траншеями со спиральной формой трассы без площадок примыкания. Съезды в карьере – как насыпные, так и созданные в гранитном массиве (с использованием природных постельно-пластовых трещин). Для подготовки добычных уступов применяется бурение ручным перфоратором [3].

Погрузчик WA600 **(рис. 3)** производства фирмы Komatsu с емкостью ковша 6,5 м^3 дополнительно укомплектован быстросъемными вилами и кантователем блоков для опрокидывания монолитов на отсыпанные подушки из штыба и буровой мелочи. Отделенные блоки перевозятся погрузчиком на временный склад, расположенный в выработанном пространстве карьера.

Рис. 3. Транспортировка блоков погрузчиком WA600

Технологией также предусматривается взрывное отделение первичного монолита трубками Forsit. Детонация происходит последовательно по частям и поэтому такой способ взрывания практически не влияет на блочность камня.

Пластовое залегание пород группы гранитов с практически горизонтальными слоями дает возможность вести добычу блоков с выходом до 75% и более при невысоких трудозатратах. Однако такое благоприятное для камнедобычи залегание является лишь частным случаем генетической природы трещин в массиве. Более общий случай – трансформация горизонтальных (слабонаклонных) трещин в пологопадающие, а вертикальных поперечных и продольных трещин в крутопадающие, при этом количество крутопадающих систем может быть более двух. Выход блоков на таких месторождениях составляет 10–60%, что и является главной причиной дефицита блочной продукции из высокопрочного облицовочного камня [5–7].

В последние годы в мировой индустрии камня наметилась стабильная тенденция применения алмазно-канатных машин (АКМ) на гранитных карьерах со сложным залеганием в массиве природных трещин. Основанием явился многолетний практический опыт и положительные результаты применения АКМ на мраморных карьерах. Более высокий удельный расход дорогостоящего гибкого алмазного инструмента на породах типа гранит по сравнению с породами средней прочности являлся сдерживающим фактором применения данного камнерезного оборудования при добыче гранитных блоков. Однако по мере совершенствования технологии и техники производства алмазно-канатного инструмента цена его снижалась, а применение на карьерах высокопрочного камня добычного оборудования с гибким режущим инструментом расширялось. Технология ведения добычных работ на гранитных карьерах полностью соответствует мраморным карьерам,

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 (комбинированный способ подготовки блоков камня к выемке) **(рис. 4)**. При этом главной целью двухстадийной технологии также остается обеспечение повышения выхода товарных блоков в условиях сложного залегания природных трещин в массиве за счет обоснованного выбора линейных размеров отделяемого монолита.

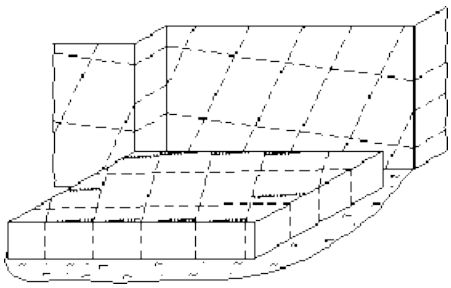

Рис. 4. Схема разделки опрокинутого монолита на товарные блоки шпуровым способом (2-я стадия) на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания

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-я стадия) составит

$$L_{шп} = 2 \cdot n_к \cdot l_к \cdot B / l_{шп}, \qquad (1)$$

где $n_к$ – количество отдельностей, заключенных между плоскостями крутопадающих трещин массива, в пределах линейного размера рассматриваемого монолита, шт.; $l_к$ – расстояние между плоскостями в крутопадающих системах трещин, м; B – ширина монолита, м; $l_{шп}$ – расстояние между шпурами, м.

Авторами разработана методика расчета, позволяющая в простом виде получить геометрические уравнения, в параметрическом виде связывающие искомые линейные параметры монолита от горно-геометрических параметров трещиноватости массива:

$$H_y = H_м = n_п \cdot l_п \cdot \sin\delta_к / \sin\gamma; \qquad (2)$$

$$L_м = n_к \cdot \frac{l_к}{\sin\delta_к} + n_п \cdot \frac{l_п}{\sin\gamma} \cdot \cos\delta_к; \qquad (3)$$

$$k_{m.n} = \frac{\left[\dfrac{(n_п \cdot l_п)^2 \cdot \sin\delta_к \cdot \cos\delta_к}{(\sin\gamma)^2} + l_к^2 \cdot n_к \cdot ctg\delta_к + n_п \cdot n_к \cdot l_к^2 \cdot ctg\gamma\right]}{(H_м \cdot L_м)}, \qquad (4)$$

где $n_к$ и $n_п$ – количество отдельностей систем круто- и пологопадающих трещин массива, шт.; $\delta_к$, $\delta_п$ – углы падения круто- и пологопадающих систем трещин, град; γ – угол между круто- и пологопадающими системами трещин, град; $l_к$ и $l_п$ – расстояние между круто- и пологопадающими системами трещин, м; $k_{m,n}$ – коэффициент относительных технологических потерь блочной продукции.

Суммарные относительные технологические потери блочной продукции предложено записать и как функцию высоты уступа (2). В результате выражение (4) примет следующий вид:

$$k_{m.n} = \frac{H_y^2 \cdot ctg\delta_к + H_y \cdot \left(l_к^2 / l_п\right) \cdot n_к \cdot \left(\cos\gamma / \sin\delta_к\right) + n_к \cdot l_к^2 \cdot ctg\delta_к}{H_y \cdot \left(H_y \cdot ctg\delta_к + n_к \cdot l_к / \sin\delta_к\right)}. \qquad (5)$$

Нахождение экстремумов технологических потерь по условию

$$\partial k_{m.n} / \partial H_y = 0 \qquad (6)$$

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

$$H_y^{оп} = \frac{l_к \cdot \left[\cos\delta_к + \sqrt{(\cos\delta_к)^2 + n_к \cdot \left(1 - (l_к / l_п) \cdot \cos\gamma\right)}\right]}{\left(1 - (l_к / l_п) \cdot \cos\gamma\right)}. \qquad (7)$$

Определение оптимальной высоты уступа позволяет найти из (2) и длину монолита как рациональную величину:

$$L_м = n_к \cdot \frac{l_к}{\sin\delta_к} + H_y^{оп} \cdot \mathrm{ctg}\delta_к. \qquad (8)$$

Как видим из полученных выражений (7) и (8), каждому целочисленному значению $n_к$ при заданной характеристике трещиноватости массива соответствует оптимальное значение высоты уступа и рациональная величина длины монолита, которым отвечает условие минимальных технологических потерь блочной продукции, то есть условие максимального выхода блоков **(рис. 5)**.

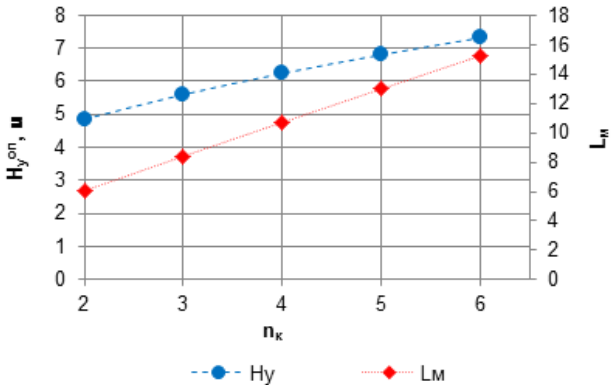

Рис. 5. Зависимость оптимальной высоты уступа и длины монолита от количества в нем крутопадающих отдельностей для Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиорита, Россия, Челябинская область ($\delta_к$=68°, γ=65°, $l_к$=1,9 м, $l_п$=2 м)

В качестве критерия определения величины $n_к$ принято относительное снижение технологических потерь блочной продукции **(рис. 6)**. По наибольшему значению данного показателя с учетом рациональных размеров рабочей площадки и возможности опрокидывания на нее монолита для горно-геологических условий Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиорита находим $n_к$=3 либо $n_к$=4.

Рациональная ширина монолита (B) 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 ($\delta_к$=68°, γ=65°, $l_к$=1,9 м, $l_п$=2 м) по разработанной методике были рассчитаны рациональные размеры отделяемого монолита: для $n_к$=3 – $H_y^{оп}$=5,6 м, $L_м$=8,4 м, $B_м$=1,7 м; для $n_к$=4 – $H_y^{оп}$=6,2 м, $L_м$=10,7 м, $B_м$=1,7 м.

На **рис. 7** показана разделка опрокинутого монолита шпуровым способом с применением механических клиньев на гранитном карьере Luboiu (Италия). При этом отделение монолита по горизонтальной плоскости осуществляется с использованием АКМ (двухстадийная схема с опрокидыванием монолита).

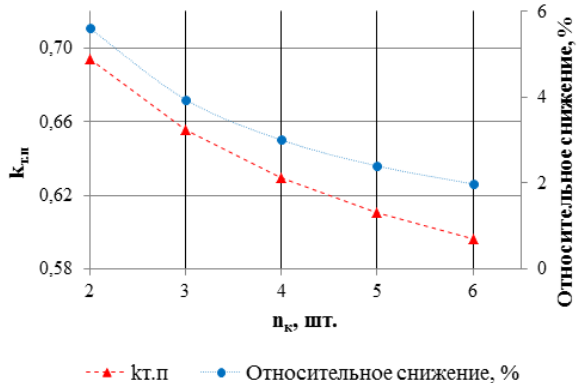

Рис. 6. Зависимость коэффициента относительных технологических потерь блочной продукции ($k_{т.п}$) и относительного снижения его величины (относительное снижение, %) от количества отдельностей крутопадающих систем трещин массива ($n_к$, шт.)

а

б

Рис. 7. Карьер Luboiu на о. Сардиния (Италия): а – горизонтальный рез АКМ, б – разделка опрокинутого на демпферную подсыпку монолита

Основное отличие трехстадийной схемы от двухстадийной заключается в отделении от массива большего по объему монолита 300–3000 м^3 **(рис. 8).**

Рассмотрим подробнее трехстадийную схему добычи монолитов камня с их опрокидыванием на примере месторождение гранита Rosa Porrino **(рис. 9)**, которое расположено на северо-западе Испании вблизи города Поррино. Месторождение нагорного типа, рыхлая вскрыша отсутствует, разрабатывается с 1960 года. В настоящее время численность работающих на карьере составляет 9 человек, 4 из которых командируются заказчиком. При производительности 12000 м^3 в год по товарным блокам на одного рабочего приходится 1333 м^3.

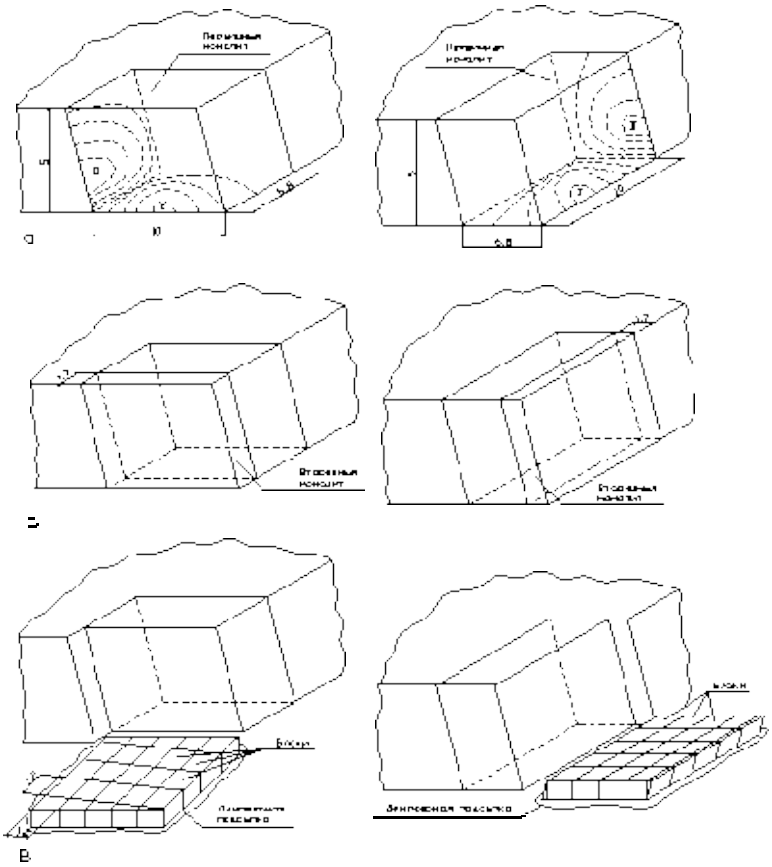

Рис. 8. Трехстадийная схема добычи гранитных блоков с опрокидыванием монолита и разделкой его по направлению параллельно или ортогонально к системе трещин (месторождение гранита Rosa Porrino, Испания): а – отделение первичного монолита (10×6,8×5 м); б – отделение вторичного монолита (10×1,7×5 м); в – завалка вторичного монолита на демпферную подсыпку и разделение его на блоки (1,7×1,2×1,5 м)

Рис. 9. Месторождение гранита Rosa Porrino (Испания)

На карьере применяется высокоуступная трехстадийная технология добычи блоков с использованием АКМ. Пиление осуществляется карьерными машинами CBC75HPN (мощность 55 кВт, диаметр ведущего шкива 810 мм) и CBC-MD75HP (57 кВт, 810 мм) производства испанской фирмы Grani Roc (г. Леон), входящей в состав компании Grupo Hedisa Cor. Максимальная производительность пиления достигает 10 м^2/ч. Вода для охлаждения каната повторно не используется. Бурение пилотных скважин предусматривается установкой Long hole drilling machine (пневмопривод, диаметр коронки 90 мм, производитель – фирма Grani Roc). Горизонтальная скважина бурется на высоте 10–20 см от плоскости рабочего горизонта. Основной причиной отставания фактической производительности от расчетной является сложность стыковки пилотных скважин и, как следствие, малый коэффициент использования оборудования. Благодаря использованию зонда для поиска отверстий (Grani Roc) процесс стыковки значительно упрощается. На разделке опрокинутого монолита применяется установка строчечного бурения COF-2 (оборудована двумя пневмоперфораторами с ожидаемой технической производительностью на гранитах 0,6 м/мин каждый, производитель – фирма Grani Roc). Между перфораторами фиксированное расстояние 30 см, установленное заводом-изготовителем. Шпуры бурятся диаметром 32 мм с интервалом 15 см. Для отделения блоков используются механические клинья и пневмомолоток. Готовые блоки грузятся погрузчиком в трал и перевозятся на склад (расстояние транспортирования около 400 м). На карьере работают два погрузчика: CAT 988 F (объем ковша 6,5 м^3), CAT 988 B (объем ковша 8 м^3). Опрокидывание вторичного монолита осуществляется с использованием гидроподушек. Для установки строчечного бурения и пневмомолотка предусмотрен компрессор (производитель – фирма Atlas Copco), а для работы АКМ – дизель-генератор.

На основе анализа передового опыта разработки гранитных месторождений в Финляндии, Италии, Португалии, Испании, России и литературных источников можно сделать следующие обобщения.

Представленные данные указывают на необходимость выбора рациональной технологической схемы добычи блочного высокопрочного камня для конкретных условий разработки.

Исследования и опыт применения алмазно-канатного способа свидетельствуют о высоком износе каната при резании камня высокой прочности. В связи с большим расходом алмазного инструмента на прочных породах и его высокой стоимостью целесообразно применение алмазно-канатного пиления в комбинации со шпуровым способом отделения монолита.

Выводы

1. В каждом конкретном случае комбинация алмазно-канатного пиления и шпурового способа при отделении монолита будет обусловлена учетом природной трещиноватости породного массива при условии обеспечения наименьших эксплуатационных затрат на процесс подготовки объемов камня к выемке. Разделка монолита на товарные блоки, как правило, осуществляется шпуровым способом с применением различных распорных средств и должна учитывать форму природных отдельностей, слагающих монолит.

2. Совершенствование процесса подготовки блоков к выемке на месторождениях с системами круто- и пологопадающих трещин осуществляется за счет использования комбинированного способа по двухстадийной высокоуступной схеме, когда на первой стадии от породного 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. Получена зависимость величины технологических потерь блочной продукции от высоты уступа и геометрических характеристик природных трещин породного массива. Путем минимизации данной зависимости как условия, обеспечивающего повышение выхода блоков, определена оптимальная высота уступа, в соответствии с которой находятся высота и длина монолита.

4. Согласно разработанной методике для горно-геологических условий Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов ($\delta_к$=68°, γ=65°, $l_к$=1,9 м, $l_п$=2 м) рассчитаны рациональные линейные параметры отделяемых монолитов:

– для 3-х отдельностей системы крутопадающих трещин массива – $H_м$=5,6 м; $L_м$=8,4 м; $B_м$=1,7 м;

– для 4-х отдельностей системы крутопадающих трещин массива – $H_м$=6,2 м; $L_м$=10,7 м; $B_м$=1,7 м.

Список литературы

1. Влияние высоты добычного уступа на выход мраморных блоков товарной кондиции / Першин Г.Д., Караулов Г.А., Караулов Н.Г., Караулов А.Г. // Горный журнал. 2008. №1. С. 25–26.
2. Синельников О.Б. Норвежские лабрадоритовые карьеры в районе г. Ларвик // Камень вокруг нас. 2009. С. 21–25.
3. Дубровский А.Б., Уляков М.С. Выбор оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов // Горный журнал. 2011. №5. С. 67–70.

4. Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С. The research of high-strength dimension stone mining technological schemes in Russia and abroad // Сборник научных трудов SWorld. Вып. 2. Т. 11. Одесса: Куприенко, 2013. С. 64–73.
5. Features of diamond-wire saws application for rock overburden removal at marble quarry construction / Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С., Шаров В.Н. // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 14. № 3. С. 39–42.
6. Бычков Г.В., Кокунин Р.В. Оптимальные способы вскрытия рабочих горизонтов на перспективных и эксплуатирующихся месторождениях природного камня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2007. С. 83–92.
7. Першин Г.Д., Уляков М.С. Обоснование способов подготовки к выемке блочного природного камня высокой прочности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2010. №4 (32). С. 14–19.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MODERN TECHNOLOGICAL SCHEMES OF DIMENSION HIGH-STRENGTH STONE MINING

Pershin Gennadiy Daltonovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pshenichnaya_e@mail.ru.

Karaulov Nikolay Gennadievich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: n_karaulov@mail.ru.

Ulyakov Maxim Sergeevich – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: maxim-atlet@yandex.ru.

Abstract. This paper analyzes technological schemes of mining blocks of granite dimension stone in Finland, Italy, Portugal, Spain, and Russia. It contains an idea of increasing the yield of commercial blocks from rock mass by minimizing processing loss of block products in deposits with a complicated bedding of natural joints limited by systems of steeply and flat dipping fissures. The authors developed methods to calculate reasonable process parameters of combined preparation for dimension high-strength stone mining in deposits with a complicated mining and geological bedding of minerals, using a high-stepped two-stage scheme of mass mining, when at the first stage blocks were cut with a diamond wire saw, and at the second stage blocks tilted on an operating platform were cut into commercial blocks with tophammer drilling rigs.

Keywords: Diamond wire saw, performance, blocks of granite dimension stone, primary block, secondary block, damping filling, horizontal cut, block parameters, bench height, block fissuring.

References

1. Pershin G.D., Karaulov G.A., Karaulov N.G., Karaulov A.G. The influence of the height of the bench on the output of commercial marble blocks. *Gornyj zhurnal* [Mining journal]. 2008, no. 1, pp. 25-26.
2. Sinelnikov O.B. Norwegian labradorite quarries near the city of Larvik. *Kamen' vokrug nas* [Stone around us]. 2009, pp. 21-25.
3. Dubrovsky A.B., Ulyakov M.S. Selection of equipment when developing the Nizhne-Sanarsly granodiorite deposit. *Gornyj zhurnal* [Mining journal]. 2011, no. 5, pp. 67-70.
4. Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S. The research of high-strength dimension stone mining technological schemes in Russia and abroad. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Collection of scientific papers SWorld]. Iss. 2. Vol. 11. Odessa: Kuprienko, 2013, pp. 64-73.
5. Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S., Sharov V.N. Features of diamond-wire saws application for rock overburden removal at marble quarry construction. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Collection of scientific papers SWorld], 2013, vol. 14, no. 3, pp. 39-42.
6. Bychkov G.V., Kokunin R.V. Optimum ways of stripping mining horizons in prospective and operating natural stone deposits. *Dobycha, obrabotka i primenenie prirodnogo kamnya: sbornik nauchnykh trudov* [Mining, processing and application of natural stone: collection of scientific papers]. Magnitogorsk: MGTU, 2007, pp. 83-92.
7. Pershin G.D., Ulyakov M.S. Rationale for ways to prepare dimension high-strength natural stone for mining. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2010, no. 4 (32), pp. 14-19.

Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С. Современные технологические схемы добычи блочного высокопрочного камня // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №3. С. 5–11.

Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S. Modern technological schemes of dimension high-strength stone mining. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 3, pp. 5–11.

УДК 622.27.235

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ УГОЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Медяник Н.Л., Бодьян Л.А., Варламова И.А., Гиревая Х.Я., Калугина Н.Л., Гиревой Т.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследования структуры труднообогатимых углей. Установлено наличие таких гетерофункциональных сорбционных центров, как гидроксильные, карбонильные и карбоксильные группы.