

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.35:621.93.025.7

ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА БЛОКОВ ВЫСОКОПРОЧНОГО КАМНЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СО СЛОЖНЫМ ЗАЛЕГАНИЕМ ПРИРОДНЫХ ТРЕЩИН В МАССИВЕ

Г. Д. Першин, М. С. Уляков

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
E-mail: maxim-atlet@yandex.ru,
просп. Ленина, 38, 455000, г. Магнитогорск, Россия*

Предложена идея увеличения выхода товарных блоков из горного массива путем минимизации технологических потерь блочной продукции на месторождениях со сложным залеганием природных отдельностей, ограниченных системами круто- и пологопадающих трещин; повышения производительности и снижения себестоимости отделения монолитов от массива за счет обоснования оптимальной высоты добычного уступа. 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 канатной пилы, а на второй — опрокинутый на рабочую площадку монолит разделяется на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения.

Выход блоков, трещиноватость массива, высокий уступ, высокопрочный камень, монолит, товарные блоки

Трещиноватостью и природной блочностью массива определяются возможность и экономическая целесообразность разработки месторождений облицовочного камня, поэтому горно-геометрический анализ структуры массива представляет не только теоретический интерес, но и имеет важное практическое значение. Под структурой массива понимается геометрическое множество его монолитных частей, образованных в результате развития в массиве природной трещиноватости. Природный структурный блок, ограниченный трещинами, имеет форму прямой или наклонной призмы. На форму природного блока оказывают влияние геометрические характеристики залегания трещин в массиве — азимут простирания и угол падения, а на его объем — межтрещинные расстояния основных систем трещин. Таким образом, структура горного массива может быть описана как параметрами природной трещиноватости, так и параметрами природной блочности, которые в совокупности и определяют теоретический выход товарных блоков из массива. Фактический выход блоков при добыче существенно отличается от теоретического (предельно возможного) уровня, в связи с чем процесс добычи облицовочного камня является многоотходным производством [1 – 5].

Причина невысокого использования потенциала месторождений облицовочного камня состоит в недостаточном соответствии применяемой технологии добычи блоков структурным особенностям разрабатываемого породного массива [6–8]. Процентное содержание различных по объему природных блоков в массиве, а также их форма определяют экономическую целесообразность применения одно- или двухстадийной схем добычи камня. Необходимость применения двухстадийной технологии добычи обусловлена сложным залеганием природных трещин на месторождении, когда природный блок, слагающий массив, образован несколькими системами крутопадающих трещин и системой первично-пластовых (пологопадающих) трещин. Как показывает опыт, двухстадийная технология особенно эффективна при разработке месторождений со слаботрещиноватой толщей горных пород [4, 8].

В настоящее время по двухстадийной схеме отрабатывается более 90 % месторождений группы мраморов, и, как правило, это единственный путь существенного повышения коэффициента выхода товарных блоков [8]. Мраморный карьер Коелгинского месторождения (Челябинская область) после внедрения в 1997 г. и работы в течение ряда лет по двухстадийной высокоуступной технологии с применением канатных пил (КП), по сравнению с двадцатилетним периодом работы по одностадийной схеме с применением баровых камнерезных машин, добился повышения выхода товарной продукции в среднем на 65 % с повышением ее блочности за счет увеличения средневзвешенного объема блока на 75 %. При этом рост выхода товарных блоков был получен за счет снижения технологических потерь [8].

Применение современной высокоуступной двухстадийной технологии добычи мраморных блоков стало возможным с появлением и использованием в карьерах КП, позволяющих в широком диапазоне изменять линейные параметры отделяемых от массива монолитов камня. Так как природная блочность массива существует как заданность месторождения, то влиять на выход товарных блоков остается только линейными параметрами отделяемых монолитов. В связи с этим разработан ряд методик расчета и выбора рациональных параметров отделяемых монолитов в зависимости от природной трещиноватости массива [8–11].

Породные массивы группы гранитов разбиты тремя системами развитых, практически ортогональных друг к другу трещин с различными межтрещинными расстояниями. Первую систему образуют пластовые трещины, имеющие горизонтальное либо слабонаклонное залегание (угол падения составляет 5–15°). Ко второй и третьей системам относятся продольные и поперечные трещины, имеющие почти вертикальное падение. На их долю приходится 40–50 и 25–30 % от общего числа трещин соответственно.

При этом могут проявляться и диагональные трещины под углом падения $\approx 45^\circ$. Неортогональность плоскостей продольных и поперечных трещин может достигать 15°, что позволяет выкалывать из массива блоки, имеющие форму параллелепипеда. Так как мощность горизонтальных пластов по глубине разработки изменяется в широком диапазоне от нескольких сантиметров до нескольких метров, обработку породного массива в его продуктивной толще осуществляют горизонтальными слоями. Выемка пород возможна продольными, поперечными и диагональными заходками в зависимости от расстояния между смежными вертикальными трещинами [8, 10, 11]. На пластовых месторождениях отделение блоков от массива выполняют по одностадийной схеме, которая предусматривает получение готовой продукции (товарных блоков) сразу после отделения объема камня стандартных размеров и прямоугольной формы.

При работе горизонтальными слоями мощность отрабатываемого слоя, как правило, соответствует высоте уступа (подступа), т. е. высоте отделяемого блока. С повышением толщи горизонтальных слоев по мере понижения обработки находит применение и двухстадийная схема, когда готовую продукцию получают с помощью дополнительных операций уже после отделения крупноразмерных блоков монолитов.

В качестве примера перехода с одностадийной на двухстадийную схему добычи блоков высокопрочного камня можно привести Мансуровский гранитный карьер (Республика Башкортостан). Причиной перехода с нарастанием мощности пластов явился низкий выход товарных блоков, отделяемых шпуровым способом с применением механических клиньев [8].

У механических или гидравлических клиньев распорное усилие локализовано в верхней части шпура, поэтому с увеличением мощности пласта (уступа) наблюдается искривление трещины отрыва от заданного направления. Отклонение плоскости отрыва от намеченной контурной плоскости увеличивает технологические потери товарных блоков, что снижает коэффициент их выхода. Внедрение на Мансуровском гранитном карьере двухстадийной схемы с отделением на первом этапе крупных монолитов шпуровым способом с применением в теплый и переходный периоды (до -10°C) года в качестве распорных средств невзрывчатых разрушающих смесей (НРС) повысило коэффициент выхода блоков товарной кондиции от 20 до 50 % в зависимости от участка карьера [8]. Высота уступа по данной технологии устанавливалась в пределах 3 м и включала один, два либо три пласта в зависимости от их мощности.

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.

В последние годы в мировой индустрии камня наметилась стабильная тенденция применения КП на гранитных карьерах со сложным залеганием в массиве природных трещин. Основанием послужил многолетний практический опыт и положительные результаты применения КП на мраморных карьерах. Более высокий удельный расход дорогостоящего гибкого алмазного инструмента на породах типа гранит по сравнению с породами средней прочности сдерживает применение данного камнерезного оборудования при добыче гранитных блоков. Однако по мере совершенствования технологии и техники производства алмазно-канатного инструмента цена его снижалась, а использование добычного оборудования с гибким режущим инструментом на карьерах высокопрочного камня расширялось [11]. Технология ведения добычных работ на гранитных карьерах полностью соответствует мраморным карьерам, т. е. применяется двухстадийная схема с отделением монолита от массива на первом этапе и разделкой на блоки опрокинутого монолита на рабочую площадку на втором этапе. 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.

Данную чисто геометрическую задачу будем решать при тех же упрощениях и допущениях, принятых в работе [12]. Принимаем, что природный блок ограничивается плоскостями трех почти взаимно ортогональных и наиболее развитых в массиве систем трещин, к которым относятся система пологопадающих и две системы крутопадающих трещин. Поскольку в первую очередь определяются высота и длина монолита, фронтальную (продольную) плоскость монолита располагаем так, чтобы следы первой основной (пологопадающей) системы трещин и второй основной (крутопадающей) системы на фронтальную плоскость представляли собой линии падения данных трещин. В таком случае вторая система крутопадающих трещин будет располагаться практически параллельно фронтальной плоскости, которая в этом случае примет положение, ортогональное азимуту простираения первой основной системы трещин.

Полученная картограмма трещиноватости фронтальной плоскости монолита является проекциями природных отдельностей, ограниченных плоскостями отделения монолита от массива. На картограмме выстраиваются прямоугольники, одна из сторон которых совпадает с направлением системы трещин, имеющей минимальное межтрещинное расстояние, т. е. максимальное развитие в массиве. Площадки других геометрических фигур, как правило, треугольной формы, помноженные на ширину монолита, будут выражать технологические потери блочной продукции, так как согласно ГОСТ 9479-2011 “Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий” за технологические потери принимаются все объемы камня, составляющие монолит, которые не вписываются в форму прямоугольного параллелепипеда или близкую к нему.

Продуктивность принятой в работе [12] расчетной схемы заключается в том, что высота и длина монолита выражаются в целочисленных значениях количеством пологопадающих и крутопадающих отдельностей. Так, за высоту монолита принимается расстояние, кратное числу пологопадающих отдельностей, а длина монолита определяется числом, кратным круто- и пологопадающим отдельностям в пределах фронтальной плоскости монолита. Предложенная методика расчета позволила в простом виде получить геометрические уравнения, в параметрическом виде связывающие искомые линейные параметры монолита с горно-геометрическими параметрами трещиноватости массива:

$$H_y = H_m = n_{\text{п}} l_{\text{п}} \sin \delta_{\text{к}} / \sin \gamma, \quad (1)$$

$$L_m = n_{\text{к}} \frac{l_{\text{к}}}{\sin \delta_{\text{к}}} + n_{\text{п}} \frac{l_{\text{п}}}{\sin \gamma} \cos \delta_{\text{к}}, \quad (2)$$

$$k_{\text{т.п}} = \frac{[(n_{\text{п}} l_{\text{п}})^2 \sin \delta_{\text{к}} \cos \delta_{\text{к}}] / (\sin \gamma)^2 + l_{\text{к}}^2 n_{\text{к}} \text{ctg} \delta_{\text{к}} + n_{\text{п}} n_{\text{к}} l_{\text{к}}^2 \text{ctg} \gamma}{H_m L_m}, \quad (3)$$

где $n_{\text{к}}$ и $n_{\text{п}}$ — количество отдельностей систем круто- и пологопадающих трещин массива, шт.; $\delta_{\text{к}}$, $\delta_{\text{п}}$ — углы падения круто- и пологопадающих систем трещин, град; γ — угол между круто- и пологопадающими системами трещин, град; $l_{\text{к}}$ и $l_{\text{п}}$ — расстояние между круто- и пологопадающими системами трещин, м; $k_{\text{т.п}}$ — коэффициент относительных технологических потерь блочной продукции.

Суммарные относительные технологические потери блочной продукции [11] предложено записать и как функцию высоты уступа (1). В результате выражение (3) примет следующий вид:

$$k_{\text{т.п}} = \frac{H_y^2 \text{ctg} \delta_{\text{к}} + H_y (l_{\text{к}}^2 / l_{\text{п}}) n_{\text{к}} (\cos \gamma / \sin \delta_{\text{к}}) + n_{\text{к}} l_{\text{к}}^2 \text{ctg} \delta_{\text{к}}}{H_y (H_y \text{ctg} \delta_{\text{к}} + n_{\text{к}} l_{\text{к}} / \sin \delta_{\text{к}})}. \quad (4)$$

Нахождение экстремумов технологических потерь по условию

$$\delta k_{\text{т.п}} / \delta H_y = 0 \quad (5)$$

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

$$H_y^{\text{оп}} = \frac{l_{\text{к}} \{ \cos \delta_{\text{к}} + \sqrt{(\cos \delta_{\text{к}})^2 + n_{\text{к}} [1 - (l_{\text{к}} / l_{\text{п}}) \cos \gamma]} \}}{1 - (l_{\text{к}} / l_{\text{п}}) \cos \gamma}. \quad (6)$$

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

$$L_m = n_{\text{к}} \frac{l_{\text{к}}}{\sin \delta_{\text{к}}} + H_y^{\text{оп}} \text{ctg} \delta_{\text{к}}. \quad (7)$$

Как видно из выражений (6) и (7), каждому целочисленному значению n_k при заданной характеристике трещиноватости массива соответствует оптимальное значение высоты уступа и рациональное значение длины монолита, которым отвечает условие минимальных технологических потерь блочной продукции, т. е. условие максимального выхода блоков (рис. 1).

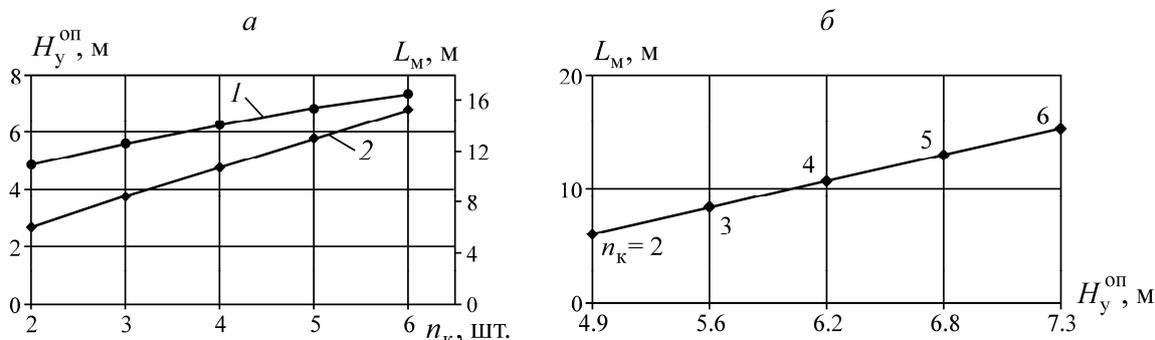


Рис. 1. Зависимость: а — оптимальной высоты уступа и длины монолита от количества в нем крутопадающих отдельностей (1 — H_y ; 2 — L_m); б — длины монолита от оптимальной высоты уступа и количества в нем крутопадающих отдельностей ($\delta_k = 68^\circ$, $\gamma = 65^\circ$, $l_k = 1.9$ м, $l_{II} = 2$ м)

В качестве критерия определения n_k принято относительное снижение технологических потерь блочной продукции (рис. 2). 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 $n_k = 3$ либо $n_k = 4$.

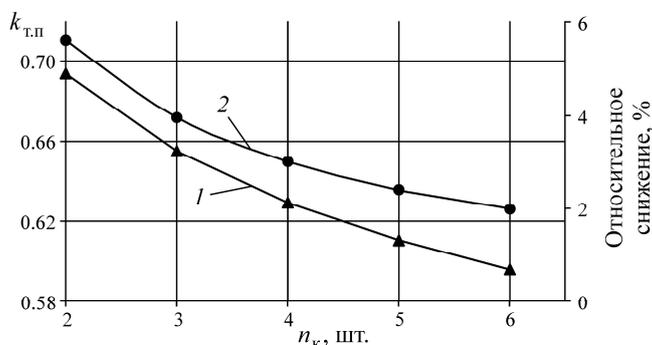


Рис. 2. Зависимость коэффициента относительных технологических потерь блочной продукции $k_{т.п}$ (1) и относительного снижения (2) его величины от количества отдельностей крутопадающих систем трещин массива n_k

Для оценки влияния режима работы КП на себестоимость пиления необходимо еще 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 ($\delta_k = 68^\circ$, $\gamma = 65^\circ$, $l_k = 1.9$ м, $l_{II} = 2$ м) по разработанной методике были рассчитаны рациональные размеры отделяемого монолита: для $n_k = 3$ — $H_y^{op} = 5.6$ м, $L_m = 8.4$ м, $B_m = 1.7$ м; для $n_k = 4$ — $H_y^{op} = 6.2$ м, $L_m = 10.7$ м, $B_m = 1.7$ м.

ВЫВОДЫ

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 горного массива отделяется монолит с помощью КП, а на второй стадии, после опрокидывания монолита на рабочую площадку, осуществляется его разделка на товарные блоки с использованием станков строчечного бурения.

Получена зависимость технологических потерь блочной продукции от высоты уступа и геометрических характеристик природных трещин горного массива. Путем минимизации данной зависимости как условия, обеспечивающего повышение выхода блоков, определена оптимальная высота уступа, в соответствии с которой находятся высота и длина монолита.

Согласно разработанной методике, на примере Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов обоснованы рациональные линейные параметры отделяемых монолитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уляков М. С. Совершенствование процесса подготовки к выемке высокопрочного камня на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями залегания // Сб. науч. тр. SWorld. — Вып. 4. — Т. 8. — Одесса: КУПРИЕНКО, 2012.
2. Першин Г. Д., Караулов Н. Г., Уляков М. С. The research of high-strength dimension stone mining technological schemes in Russia and abroad // Сб. науч. тр. SWorld. — Вып. 2. — Т. 11. — Одесса: КУПРИЕНКО, 2013.
3. Аглюков Х. И. Обоснование эффективности технологии добычи блочного гранита. Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2003.
4. Аглюков Х. И. Повышение качества технологии добычи блочного гранита // Экономика, управление, качество: межвуз. сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2003.
5. Великанов В. С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием “прямая механическая лопата”: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2009.
6. Дубровский А. Б., Уляков М. С. Выбор оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов // Горн. журн. — 2011. — № 5.
7. Аглюков Х. И. Эффективность производства гранитного щебня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2009.
8. Уляков М. С. Обоснование комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Магнитогорск: МГТУ, 2013.
9. Першин Г. Д., Караулов Н. Г., Уляков М. С., Шаров В. Н. Features of diamond-wire saws application for rock overburden removal at marble quarry construction // Сб. науч. тр. Sworld. — Вып. 3. — Т. 14. — Одесса: КУПРИЕНКО, 2013.
10. Косолапов А. И., Невежин А. Ю. Моделирование трещиноватости пород для оценки пространственной изменчивости блочности массива месторождений облицовочного камня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2003.
11. Першин Г. Д., Уляков М. С. Анализ влияния режимов работы канатных пил на себестоимость отделения монолитов камня от породного массива // ФТПРПИ. — 2014. — № 2.
12. Першин Г. Д., Уляков М. С. Обоснование комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня // Изв. вузов. Горн. журн. — 2013. — № 4.