

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРОВ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ НА ОСНОВЕ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МАССИВА

Махмудов А.

*Навоийский государственный горно-технологический университет,
Навои, Узбекистан.*

Doi: 10.5281/zenodo.18092531

АННОТАЦИЯ

В работе исследованы закономерности формирования параметров системы разработки месторождений природного облицовочного камня и методика расчёта геометрических элементов карьера. Особое внимание уделено влиянию структуры массива, трещиноватости и блочности на эффективность вскрышных и добычных работ. Приведены аналитические выражения для определения длины фронта горных работ при различных системах разработки — однобортной, двухбортной, продольно-поперечной и кольцевой. Предложена комплексная методика проектирования параметров карьера, включающая горно-геометрическое моделирование, расчёт коэффициента вскрыши и выхода блоков, а также выбор рациональной высоты уступов и глубины разработки. Установлены зависимости между экономической целесообразностью и техническими параметрами карьера. Полученные результаты позволяют повысить точность проектных решений, снизить себестоимость добычи, обеспечить устойчивость откосов и увеличить выход товарных блоков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

карьер облицовочного камня, трещиноватость, блочность, коэффициент вскрыши, коэффициент выхода блоков, высота уступа, глубина карьера, горно-геометрический анализ, экономическая целесообразность.

ВВЕДЕНИЕ

Карьеры природного камня при относительно небольшой годовой производительности и значительных запасах месторождения характеризуются низкими скоростями продвижения фронта горных работ и линий забоев. Средний коэффициент вскрыши на таких месторождениях облицовочного камня, как правило, составляет 0,8–1,2 м³/м³ и менее. Из-за малых скоростей продвижения фронта горных работ значение текущего коэффициента вскрыши в течение года изменяется незначительно либо остаётся постоянным. Следовательно, данный показатель не может использоваться в качестве критерия при проведении геометрического анализа месторождений облицовочного камня.

Горные породы, используемые для производства облицовочного камня, должны обладать высокими декоративными свойствами, достаточной прочностью, долговечностью, а также необходимой блочностью — объёмом естественных монолитов без трещиноватости. Неразрабатываемые месторождения часто представлены породами, разделёнными на блоки различного размера и формы, при этом количество монолитов в массиве существенно варьирует.

Экономическая целесообразность разработки месторождений облицовочного камня при условии соответствия декоративных и физико-технических свойств породы требованиям промышленности определяется размерами и содержанием

естественных монолитов в массиве. Именно этот показатель обуславливает выход кондиционных блоков при эксплуатации месторождения. Основные параметры блоков регламентируются стандартом ГОСТ 9497–84.

Показатели трещиноватости и блочности массива определяют выход блоков и оказывают решающее влияние на выбор схемы вскрытия, направление продвижения фронта горных работ на уступе, параметры системы разработки, схемы заходок и другие элементы технологии добычи.

При проектировании и планировании развития горных работ на действующих карьерах необходимо устанавливать объёмы добычных и вскрышных работ по годам и этапам эксплуатации. При этом процессы горных работ рассматриваются с учётом изменения формы, размеров карьера и динамики объёмов горных работ. Режим эксплуатации карьера блочного камня считается установленным, если определены начальное положение горных работ, основное направление их развития, а также распределение объёмов блоков по промышленным группам ГОСТ в пределах рабочей зоны по годам функционирования предприятия.

Исходным материалом для анализа горных работ на карьерах облицовочного камня служит горно-геометрическая модель полезной толщи, представляющая собой совокупность графических, аналитических и текстовых материалов, отражающих объективную

информацию о структурных особенностях массива.

На стадии сбора данных проводится изучение месторождения, горных выработок и буровых скважин. Определяются форма залежи, её размеры, условия залегания, а также выделяются участки, осложнённые крупными разломами, зонами повышенной трещиноватости и карстовыми включениями. На действующих предприятиях используется геолого-маркшейдерская документация, включающая журналы съёмки, геологические и маркшейдерские планы, разрезы, а также материалы учёта потерь и извлечений полезных ископаемых.

Планирование и учёт движения запасов осуществляются на основе генерального плана карьера (масштаб 1:2000–1:5000), сводного плана горных работ (1:1000–1:2000), поуступных планов (1:1000–1:500), вертикальных разрезов (1:1000–1:2000) и продольных профилей рабочих площадок (горизонтальный масштаб 1:1000–1:2000, вертикальный — 1:100–1:200).

Для определения объёмов добычных и вскрышных работ используются материалы подсчёта запасов, выполненные при разведке месторождения, а также текущие геологические документы: горизонтальные и вертикальные разрезы, послойные качественные планы и другие источники.

Графические материалы включают горизонтальные планы с изолиниями интенсивности трещиноватости, выраженной в трещинах на метр (тр/м), либо с указанием среднего расстояния между трещинами и показателей блочности. На их основе строятся вертикальные разрезы карьерного поля по направлениям, соответствующим основным системам трещин и ориентации фронта горных работ.

Аналитические данные формируются по результатам измерений трещин, определению средних значений азимутов простирания, углов падения, межтрещинных расстояний и параметров блочности массива. Текстовые материалы содержат геологическое описание полезной толщи и вскрышных пород, основанное на отчётных, проектных и маркшейдерских данных предприятия.

Совокупность этих данных позволяет разделить карьерное поле на зоны, отличающиеся по интенсивности трещиноватости, азимутам простирания и углам падения главных систем трещин. В пределах каждой зоны определяется блочность массива — объёмы и содержание природных блоков в полезной толще, что достигается посредством горно-геометрического анализа структуры массива.

Данный метод включает определение пространственных параметров систем трещин, аналитический расчёт межтрещинных расстояний, построение картограмм блочности и определение

направлений горных работ. Направление подвигания фронта должно совпадать либо быть перпендикулярным простиранию основных круто падающих систем трещин. Выбор расположения забоев и фронта горных работ в целом по карьере выполняется на основе графического анализа ожидаемого выхода блоков различных промышленных групп с выбором оптимального направления.

Результаты геометрического анализа трещиноватости позволяют рассчитать параметры блочности как для всего карьера, так и для его отдельных участков, различающихся по размерам и количеству природных блоков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Технология открытых горных работ, применяемая при разработке месторождений облицовочного камня, включает те же основные этапы, что и при добыче других полезных ископаемых: подготовку поверхности, вскрытие рабочих горизонтов, проведение вскрышных и добычных работ, а также рекультивацию. Однако, в силу небольшой производительности таких карьеров, необходимости получения блоков строго определённых размеров, использования специализированных машин и механизмов, а также других особенностей, последовательность ведения горных работ и технология выемки блоков облицовочного камня существенно отличаются от технологий добычи рудных, угольных и иных месторождений.

Выбор рациональной технологической схемы и способа разработки месторождения определяется совокупностью факторов — горно-техническими условиями залегания, свойствами пород, параметрами оборудования, требованиями к качеству готовой продукции и др. — и обосновывается на стадии проектирования.

Интенсивность разработки месторождений природного камня, как правило, невелика. Этот фактор оказывает существенное влияние на порядок выполнения подготовительных работ и объём горно-геологических изысканий [1,4,6].

Одним из важнейших элементов открытой разработки является уступ. Его высота определяет объём горно-подготовительных работ, сроки строительства карьера, общую протяжённость фронта горных работ и угол откоса бортов. Рациональной считается такая высота уступа, при которой обеспечиваются:

1. безопасность ведения горных работ;
2. проектная производственная мощность карьера по горной массе;
3. высокая производительность вскрышного и добычного оборудования;
4. минимизация затрат на вспомогательные операции и снижение себестоимости добычи.

При определении высоты уступа для месторождений облицовочного камня высокой прочности необходимо учитывать горно-геологические условия залегания, степень

трещиноватости и блочность массива, а также направление главных систем трещин. Высота уступа должна быть равна или кратна расстоянию между горизонтальными трещинами (при разработке слоями) либо наклонными трещинами (при слоевой выемке под углом).

Если расстояние между трещинами превышает 3–4 м, уступ может быть разделён на подуступы, высота которых кратна высоте товарного блока — монолита максимального объёма.

Согласно требованиям техники безопасности, при ручной отработке крепких пород (например, гранитов) высота уступа не должна превышать 1,5 м, а при механизированной добыче — 20 м. Это ограничение вызвано не столько необходимостью обеспечения устойчивости уступа, угол откоса которого допускается принимать равным 90° , сколько требованиями к безопасному осмотру и разборке уступов [2,9,10].

Расчёты показывают, что для гранитных карьеров высота уступа, определяемая из условий устойчивости, может превышать 100 м. Однако из-за необходимости сохранения механической целостности блоков высота рабочей зоны ограничивается. Для определения допустимой мощности слоя при падении монолитов используется выражение:

$$H_{cl} = \frac{P_{up}^2}{2E\gamma}, \text{ м (1)}$$

где P_{up} — предел упругости (предел прочности при сжатии), МПа; E — модуль Юнга для гранита, МПа; γ — объёмная масса гранита, г/см³.

Для условий украинских гранитных карьеров расчёты показывают, что высота уступа не должна превышать 10–12 м. На практике она обычно определяется расстоянием между постельными трещинами.

Проектная глубина карьера определяется разведанной мощностью залежи. Экономически целесообразная глубина добычи определяется граничным коэффициентом вскрыши, который характеризует максимально допустимый объём вскрышных пород, перемещаемых из массива в отвалы при сохранении рентабельности добычи.

Гранитные толщи могут залегать на глубину десятков километров, однако разведанные мощности месторождений облицовочного камня обычно ограничиваются десятками метров. Исследования М. М. Чеснокова показали, что с увеличением глубины разработки контурный коэффициент вскрыши снижается, а интенсивность трещиноватости уменьшается, что улучшает блочность массива. Следовательно, с увеличением глубины повышается качество добываемого камня, и развитие фронта горных работ должно осуществляться вглубь месторождения [3,5,8].

По методике М. М. Чеснокова экономически целесообразная глубина карьера при применении кабельных кранов для перемещения блоков определяется по выражению [3]:

$$H_{max} = 224\eta\eta_n \frac{kC_B}{C_3} - \frac{d}{3 \cot \beta}, \text{ м (2)}$$

где η — выход блоков из массива, м³; η_n — КПД крана; k — коэффициент вскрыши, м³/м³; C_B — себестоимость 1 м³ вскрышных пород, у.е./м³; γ — плотность гранита, тс/м³; C_3 — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, у.е.; d — ширина дна карьера, м; β — угол наклона рабочих бортов, град.

Расчёты показывают, что глубина карьеров природного камня может достигать 450–500 м, при оптимальных значениях — 100–150 м.

Экономические показатели и коэффициент выхода блоков

Рентабельность работы карьера обеспечивается при выполнении условия:

$$a \cdot b + v_1 p + v_2 p + v_3 V_B \leq cb + c_1 p$$

где a — себестоимость добычи 1 м³ товарных блоков, у.е./м³; v_1 — себестоимость добычи 1 м³ некондиционного сырья, окола и скальной вскрыши, у.е./м³; v_2 — затраты на дополнительную переработку некондиционного сырья, окола и скальной вскрыши, у.е./м³; v_3 — себестоимость 1 м³ рыхлой вскрыши, у.е./м³; b — объём добываемых товарных блоков, м³; p — объём некондиционного полезного ископаемого, окола и скальной вскрыши, м³; v_B — объём пород рыхлой вскрыши, м³; c — отпускная цена товарных блоков, у.е./м³; c_1 — отпускная цена продукции из некондиционного полезного ископаемого, у.е./м³.

Коэффициент выхода блоков из массива определяется выражением:

$$K = \frac{B}{B+P}, \text{ где } P=Q+N+C \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ (3)}$$

где B — объём товарных блоков; Q — объём скола; N — объём неконденционных полезных ископаемых; C — объём вскрышных пород.

Минимальное значение K соответствует границе рентабельности предприятия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для каждого горизонта определяется экономически целесообразный коэффициент выхода блоков.

По геологическим данным устанавливаются высоты уступов рыхлой и скальной вскрыши.

Углы откосов рабочих и нерабочих уступов принимаются по углам падения систем трещин массива.

Рассчитывается ширина рабочих площадок для принятых комплексов оборудования.

Определяется необходимое количество добычных забоев:

$$N_3 = \frac{Q_k \cdot 100 \cdot K_p}{Q_3 \cdot K}, \text{ (4)}$$

где Q_k — сменная производительность карьера, Q_3 — производительность оборудования, K_p — коэффициент резерва.

Рассчитывается длина фронта горных работ.

Устанавливаются количество рабочих горизонтов и проектная глубина карьера.

Расчетные зависимости для определения протяженности фронта горных работ карьеров облицовочного камня

№	Система разработки	Расчетная зависимость
1	Однобортная продольная или поперечная	$L_{фр}=n[B_k-2H_b \operatorname{ctg} \alpha_b-(n-1)B]-2(n-1)[H_c \operatorname{ctg} \alpha_c+(n-2)H_n \operatorname{ctg} \alpha]$
2	Двухбортная продольная или поперечная	$L_{фр}=2n[B_k-2H_b \operatorname{ctg} \alpha_b-(n-1)B]-2(n-1)[H_c \operatorname{ctg} \alpha_c+(n-2)H_n \operatorname{ctg} \alpha]$
3	Продольно – поперечная двухбортная	$L_{фр}=n[2B_k-4H_b \operatorname{ctg} \alpha_b-(n-1)B]-[(n-1)(2\sigma_b+H_c \operatorname{ctg} \alpha_c+2(n-1)H_n \operatorname{ctg} \alpha)-n_1[\sigma_c+(n-1)\sigma_{рп}]]$
4	Продольно – поперечная трехбортная	$L_{фр}=n(2B_k+B_{k1}-6H_b \operatorname{ctg} \alpha_b)-(n-1)(4\sigma_b+n\sigma)-2(n-1)^2[H_c \operatorname{ctg} \alpha_c+(n-2)^2 H_n \operatorname{ctg} \alpha]-n_1[3\sigma_c+n_1(n-1)^2 \sigma_{рп}]$
5	Кольцевая центральная	$L_{фр}=4\{n[B_{k1}-2H_b \operatorname{ctg} \alpha_b]-2(n-1)[\sigma_b+H_c \operatorname{ctg} \alpha_c+(n-2)H_n \operatorname{ctg} \alpha]-n_1[2\sigma_c+(n-1)\sigma_{рп}]\}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны аналитические зависимости для определения длины фронта горных работ при различных системах разработки, позволяющие повысить точность расчётов и рациональность проектных решений.

Показано, что параметры уступов и глубина карьера напрямую зависят от структуры массива и взаимного расположения систем трещин.

Применение предложенной методики обеспечивает экономическую целесообразность

разработки, минимизацию вскрышных объёмов и повышение выхода кондиционных блоков.

Установлено, что наиболее рациональной при больших запасах и низкой трещиноватости является продольно-поперечная двухбортная схема, обеспечивающая равномерное развитие фронта.

Практическое применение методики позволит повысить надёжность проектирования, безопасность ведения горных работ и эффективность использования минерально-сырьевой базы.

BEZAK TOSH KARYERLARINI QAZIB OLISH TIZIMI PARAMETRLARINI KON-GEOMETRIK TAHLIL ASOSIDA ANIQLASH METODIKASI

Maxmudov A.

*Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O'zbekiston.*

ANNOTATSIYA

Ushbu ishda tabiiy qoplama tosh konlarini qazib olish tizimi parametrlarining shakllanish qonuniyatlari va karyerning geometrik elementlarini hisoblash metodikasi o'rganilgan. Tog' jinslari massivi tuzilmasi, yoriqlilik darajasi va blokliligining qoplama qatlamini ochish hamda foydali qazilmani qazib olish samaradorligiga ta'siri alohida ko'rib chiqilgan. Turli ishlab chiqish tizimlari — bir bortli, ikki bortli, bo'yлама-ko'ndalang va halqasimon tizimlar uchun kon ishlari frontining uzunligini aniqlashga doir analitik ifodalar keltirilgan. Karyer parametrlarini loyihalashning kompleks metodikasi taklif etilgan bo'lib, u kon-geometrik modellashlash, qoplama koeffitsientini va blok chiqish darajasini hisoblash, shuningdek, ustunlarning oqilona balandligi va qazib olish chuqurligini tanlashni o'z ichiga oladi. Karyerning iqtisodiy maqsadga muvofiqligi bilan texnik parametrlar o'rtasidagi bog'liqliklar aniqlangan. Olingan natijalar loyihaviy yechimlarning aniqligini oshirish, qazib olish tannarxini kamaytirish, qiylalarning barqarorligini ta'minlash va tovar bloklar chiqishini ko'paytirish imkonini beradi.

KALIT SO'ZLAR

bezak toshi karyeri, yoriqlilik, bloklilik, ochish koeffitsienti, blok chiqish koeffitsienti, ustun balandligi, karyer chuqurligi, geometriya tahlili, iqtisodiy samaradorlik.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF DECORATIVE STONE QUARRY DEVELOPMENT SYSTEMS BASED ON MINING-GEOMETRIC ANALYSIS OF THE ROCK MASS

Makhmudov A.

*Navoi State Mining and Technological University,
Navoi, Uzbekistan*

ABSTRACT

The study investigates the regularities in the formation of parameters of the development system for natural facing stone deposits and presents a methodology for calculating the geometric elements of a quarry. Special attention is given to the influence of rock mass structure, fracturing, and blockiness on the efficiency of overburden removal and extraction operations. Analytical expressions are provided for determining the length of the mining front under various development systems — single-sided, double-sided, longitudinal-transverse, and ring systems. A comprehensive methodology for quarry design is proposed, incorporating mining-geometric modeling, calculation of the stripping ratio and block recovery rate, as well as the selection of optimal bench height and mining depth. Relationships between economic feasibility and technical parameters of the quarry have been established. The obtained results improve the accuracy of design solutions, reduce mining costs, ensure slope stability, and increase the yield of marketable stone blocks.

KEYWORDS

dimension stone quarry, jointing, blockiness, stripping ratio, block recovery coefficient, bench height, quarry depth, mining-geometric analysis, economic feasibility

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. - М.: Недра, 1980. - 510 с.
2. Ржевский В.В., Сиренко В.Н. Основные задачи развития промышленности нерудных строительных материалов на основе научных достижений. // Сб. науч. трудов ТашПИ. - Ташкент, 1979. — С. 3-10.
3. Чесноков М.М. Исследование рациональных способов разработки гранитных месторождений для получения штучного камня.: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М.: - 18 с.
4. Махмудов А. Теоретическое исследование способа подготовки горных пород к выемке на основе ударного действия // Науч. — техн.и произв.журнал «Горный вестник Узбекистана» — Навои, 2022. - №2 (89). — С. 13-16. DOI:10.54073/GV.2022.2.89.003
5. Махмудов А. Исследования массива и основных параметров системы разработки сложноструктурных месторождений облицовочного камня Узбекистана // Наука и инновационное развитие 3/2022 ISSN 2181-9637 С 54-63
6. Makhmudov A. Energy parameters for fracturing rocks with wedge-shaped tools // Наука и инновационное развитие 1/2023 ISSN 2181-9637 С 10-16, <https://dx.doi.org/10.36522/2181-9637-2023-1-2>
7. Махмудов А. Исследование энергетических параметров разрушения горных пород клиновидным инструментом // Науч. — техн.и произв.журнал «Горный вестник Узбекистана» — Навои, 2023. - №2 (93). — С. 23-27. DOI:10.54073/GV.2023.2.93.005
8. Николаевский В.Н. Динамическая прочность и скорость разрушения // Удар, взрыв и разрушение. Сер. Механика. Новое в зарубежной науке. — М.: Мир, 1981. — 214 с.
9. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород: — М.: МГТУ, 1995. — 450 с.
10. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. — М.: Недра, 1986. -231 с.

Information about authors:

Makhmudov Azamat	—	Professor the department of mining electromechanics, PhD; Navoi State Mining and Technological University, 210100, Navoi, M.Torobiy Str., 72, Republic of Uzbekistan ORCID: 0000-0002-1260-9433 , e-mail: maxmudov-azamat@inbox.ru
-------------------------	---	---