

УДК 622.35:621.93.025.7

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КАНАТНЫХ ПИЛ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ОТДЕЛЕНИЯ МОНОЛИТОВ КАМНЯ ОТ МАССИВА ПОРОДЫ

**Першин Г.Д., Голяк С.А., Караулов Н.Г., Уляков М.С.,
Сорокин И.С., Иштакбаев Р.Ф.**

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: maxim-atlet@yandex.ru*

Приведены зависимости основных показателей процесса резания (производительность, расход энергии и алмазного инструмента) от режима работы канатной пилы при различной высоте добычного уступа. Разработана методика выбора рационального режима управления канатной пилой, учитывающая установленные зависимости производительности отделения монолита от массива и эксплуатационные затраты на его отделение в зависимости от высоты уступа. Для возможности выбора рационального режима управления канатной пилой предложен комплексный технико-экономический показатель (c_w), характеризующийся затратами, отнесенными к интенсивности отделения объемов камня от массива.

Ключевые слова: канатная пила, производительность, расход инструмента, удельная работа резания, себестоимость

THE INFLUENCE OF THE MODES ROPE SAW IN THE COST DEPARTMENT MONOLITHS OF STONE FROM THE SOLID ROCK

Pershin G.D., Golyak S.A., Karaylov N.G., Ulyakov M.S., Sorokin I.S., Ishtakbaev R.F.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: maxim-atlet@yandex.ru

Dependences of main indicators of the cutting process (performance, power consumption and diamond tools) on the mode of cable machines at different heights of quarry face were given. Developed technique of choosing rational mode control cable machine, taking into account the established dependencies performance department of the monolith from the massif and the operating costs of its division depending on the height of the ledge. To be able to select the sound control mode of a cable machine, a comprehensive technical and economic indicator c_w was introduced which is characterized by costs covered by the intensity of the volume of separation of stone from the massif.

Keywords: cable machine, performance, flow of the instrument, the specific work of cutting, costs

Добычные горные машины с гибким режущим инструментом к настоящему времени на каменных карьерах всего мира получили доминирующее положение [3, 6, 7]. Это связано возможностью выпиливать из массива породы монолиты больших размеров (свыше 500 м³), необходимость в которых обусловлена повышением выхода товарных блоков на трещиноватых месторождениях. Применение на данных машинах канатно-алмазного инструмента позволило вести добычные работы и на высокопрочных месторождениях природного камня (породы типа гранит). Разработка и применение на карьерах канатно-алмазных пил (такое название утвердилось у горняков) взамен ранее применяемых канатно-абразивных пил, где в качестве абразивной пульпы использовался кварцевый песок с водой, позволило повысить производительность резания в десять и более раз на породах средней прочности и расширить диапазон прочности добываемого камня до уровня гранитов, долеритов и так далее.

Отделение больших по объему монолитов камня предполагает применение высокоуступной технологии отработки месторождения, когда все линейные параметры

монолита обосновываются по условию максимального выхода товарных блоков в зависимости от природной трещиноватости массива [7, 9, 10]. Независимо от прочности камня теоретическими исследованиями и практикой обоснована двухстадийная схема добычи товарных блоков, когда на первой самой трудоемкой стадии отделяется монолит обоснованных размеров с помощью канатных пил (КП). На второй стадии монолит разделяется на товарные блоки различными способами и реализующими их техническими средствами в зависимости от прочности камня. Для пород типа мрамор применяют баровые камнерезные машины, либо пассировочные КП для окварцованных месторождений. На породах типа гранит используется шпуровой способ с применением клиньев (механических, гидравлических), а также невзрывчатых разрушающих составов (НРС).

Цель данной работы заключается в исследовании влияния режимов работы КП на основные технико-экономические показатели процесса отделения монолитов камня от породного массива.

На технико-экономические показатели отделения монолита от массива влияют его

линейные размеры (H, L, B), режимы работы КП и прочность камня [4, 5, 8]. Экономическая оценка работы КП производится с учетом производительности резания, удельного расхода электроэнергии и алмазного инструмента. Удельные эксплуатационные затраты (руб./м²) на отделение монолита от массива с помощью КП при этом определяются по зависимости

$$C_s = \frac{C_o}{K_{uo} \cdot \Pi} + b \cdot A \cdot C_э + b \cdot R \cdot \gamma_a \cdot C_u, \quad (1)$$

где $C_o, C_э, C_u$ – стоимости соответственно работы канатной пилы (руб./ч), электроэнергии (руб./кВт·ч), алмазного инструмента (руб./карат); $K_{uo} = 0,75$ – расчетный коэффициент использования КП во времени; Π – техническая производительность КП, м²/с; b – ширина пропила (диаметр алмазорежущей втулки гибкого инструмента), м; A – удельная работа резания, Дж/м³; R – удельный расход алмазного инструмента, м³/м³; γ_a – содержание алмазов в единице

объема алмазосущего слоя инструмента, карат/м³.

Первое слагаемое уравнения представляет затраты на амортизационные отчисления камнерезного оборудования с учетом затрат на обслуживание и ремонт и заработную плату оператору КП $C_{до+зп}$; второе слагаемое – это затраты на электроэнергию, потребляемую двигателем в процессе резания $C_{ээ}$, а третье – затраты, связанные с расходом алмазного инструмента $C_{ал}$ [5, 8].

В случае применения схемы управления с постоянной скоростью подачи средняя производительность КП рассчитывается согласно работе [5]:

$$\Pi_V^{\max} = K_m \cdot \Pi_V^{\max}, \quad (2)$$

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

Максимальная производительность определяется выражением [9]

$$\Pi_V^{\max} = \frac{N}{b \cdot 820} \cdot \left(\frac{2 \cdot N}{\mu_{pac} \cdot k_n \cdot b \cdot (\pi + \phi_o) \cdot h_{np} \cdot V_p} \right)^{0.5}, \quad (3)$$

где h_{np} – высота пропила, м; ϕ_o – дополнительный угол охвата, рад; μ_{pac} и k_n – коэффициенты распиловки и прерывистости режущей поверхности; b – диаметр режущей втулки, м; V_p – скорость распиловки (скорость движения гибкого режущего органа), м/с.

Для продольного пропила ($k_\phi = L/H > 1$), $h_{np} = H_y$, а значение коэффициента K_m^{np} рассчитывается по формуле

$$K_m^{np} = k_\phi / \left(k_\phi + 0,75 - 0,643 \cdot (D_{шк} / H_y) \right), \quad (4)$$

где $D_{шк}$ – диаметр ведущего шкива, м; H_y – высота уступа, м.

Для поперечного пропила, отделяющего монолит камня от массива, выполняется условие $k_\phi = B/H \leq 1$. В этом случае максимальная высота пропила не равна высоте уступа и находится из уравнения

$$h_{np} = H_y \cdot k_\phi \cdot \left(2 - k_\phi - \frac{D_{шк}}{2 \cdot H_y} \right) / \left(1 - \frac{D_{шк}}{2 \cdot H_y} \right), \quad (5)$$

что в итоге определяет расчетную величину коэффициента K_m^n для поперечного пропила:

$$K_m^n = \left(2 - \frac{D_{шк}}{H_y} \right) / \left[k_\phi + 0,75 - 0,643 \cdot \frac{D_{шк}}{H_y} \right] \cdot \left(4 - 2 \cdot k_\phi - \frac{D_{шк}}{H_y} \right). \quad (6)$$

Зависимость производительности КП, соответствующей схеме управления ею в режи-

ме постоянной мощности резания, когда $k_\phi = B/H \leq 1$, определяется по выражению [1, 2, 5]

$$\Pi_N = \frac{N}{820 \cdot b} \cdot \left(\frac{2 \cdot N}{\mu_{pac} \cdot k_n \cdot b \cdot V_p} \right)^{0.5} \cdot \left[\left(\frac{1}{\pi \cdot D_{шк}} \right)^{0.5} - \left(\frac{1}{(\pi + \phi_o) \cdot h_{np}} \right)^{0.5} \right]. \quad (7)$$

При отделении монолита по продольной плоскости ($k_\phi = L/H > 1$, $h_{np} = H_y$) 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

$$P_N^{cp} = (P_N \cdot t_{нест} + P_V^{max} \cdot t_{см}) / (t_{нест} + t_{см}) \quad (8)$$

где $t_{нест} = (k_\phi \cdot H_y^2 - 0,5 \cdot (k_\phi - 1) \cdot H_y^2) / P_N$ – время нестационарного пиления плоскости отделения, ч; $t_{см} = (0,5 \cdot (k_\phi - 1) \cdot H_y^2) / P_V^{max}$ – время стационарного пиления плоскости отделения, ч.

Отношение производительностей при двух режимах для $k_\phi \leq 1$ запишется в виде

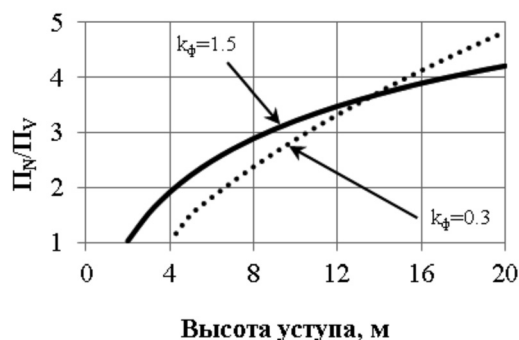
$$\frac{P_N}{P_V} = \frac{1}{K_M^n} \cdot \left[\left(\frac{(\pi + \phi_\delta) \cdot h_{np}}{\pi \cdot D_{ук}} \right)^{0.5} - 1 \right] \quad (9)$$

а для $k_\phi > 1$

$$\frac{P_N^{cp}}{P_V^{cp}} = \frac{2 \cdot k_\phi \cdot P_N}{K_M^{np} \cdot ((k_\phi + 1) \cdot P_V^{max} + (k_\phi - 1) \cdot P_N)} \quad (10)$$

На рисунке представлено отношение производительностей резания КП (9), (10),

управляемой по рассмотренным выше силовым режимам.



Зависимость отношения производительностей резания при различных режимах работы КП от высоты уступа

При этом, начиная с высоты уступа 2–4 м, производительность резания в режиме $N = const$ по отношению к режиму $V_{II} = const$ возрастает по степенной зависимости в соответствии с формой плоскости отделения.

Расчетные параметры и технико-экономические показатели работы КП в режиме $V_{II} = const$

Режим	$V_{II} = const, \sigma_n = const, \sigma_n^{min} = 0,2 \text{ МПа}, A = 1833,58 \text{ МДж/м}^3$		
Вид плоскости отделения (k_ϕ)	Горизонтальная (0,2)	Поперечная (0,3)	Продольная (1,5)
N^{max} , кВт	8,24	12,18	25,47
$R^{min} \cdot \gamma_a$, карат/м ³	55,31		
K_M	0,63	0,60	0,70
P^{max} , м ² /ч	1,62	2,39	5,00
P^{cp} , м ² /ч	1,01	1,42	3,48
$N_{уд}$, кВт·ч/м ²	18,34		
$C_{AO+3П}$, руб./м ²	391,69	279,69	114,36
$C_{ЭЭ}$, руб./м ²	15,80		
C_{AI} , руб./м ²	158,07		
C_S , руб./м ²	565,56	453,56	288,23
S , м ²	14,11	9,41	47,04
$t_{пильня}$, ч	14,1	6,7	13,5
$\sum t_{пильня}$, ч	34,4		
C , тыс. руб.	7,98	4,27	13,56
$\sum C$ (по монолиту), тыс. руб.	25,81		

Экономические показатели при различных параметрах в режиме $V_{II} = const$ распиловки алмазно-канатным инструментом гранодиорита Нижне-Санарского месторождения (линейные размеры монолита: $H_m = 5,6$ м, $L_m = 8,4$ м, $B_m = 1,7$ м) приведены в табл.

Основным результатом проведенных исследований и полученных зависимостей (1),

(9), (10) [5, 6] 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 КП. Производительность отделения монолита от массива с помощью КП, работающей в режиме постоянной мощности резания, при высоте уступа 5–13 м повышается в 1,2–3 раза по отношению к режиму постоянной скорости подачи КП 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 от другого. Поэтому, за критерий оценки принимается комплексный технико-экономический показатель (c_w), характеризующийся затратами, отнесенными к интенсивности отделения объемов камня от массива. Выбор рационального режима работы КП от высоты уступа достигается путем минимизации величины этого комплексного показателя.

Выводы

1. Получены зависимости отношения производительностей резания при различных режимах работы КП от высоты уступа. При этом, начиная с высоты уступа 2–4 м, производительность резания в режиме $N = const$ по отношению к режиму $V_{II} = const$ возрастает по степенной зависимости в соответствии с формой плоскости отделения.

2. Время, затраченное на резание плоскостей, для условий Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов в случае работы КП в режиме $N = const$ (22,7 ч) в 1,5 раза меньше, чем в режиме $V_{II} = const$ (34,4 ч). При этом доля времени, затраченного на выполнение пропилов КП, в процессе подготовки к выемке камня занимает 51,5 и 61,5% для режимов $N = const$ и $V_{II} = const$ соответственно.

3. Удельные эксплуатационные затраты на резание плоскостей в режиме $N = const$ по отношению к режиму $V_{II} = const$ возрастают в соответствии с формой плоскости отделения. Отношение значений удельных эксплуатационных затрат $C_{s(N)}/C_{s(V)}$ при высоте уступа $H_y^{оп} = 5,6$ м составляет 1,0–1,8 в зависимости от величины коэффициента k_ϕ .

4. Для отделения монолитов камня от породного массива при высоте добычного уступа менее 4,5 м следует выбирать режим резания с постоянной скоростью подачи КП на забой. При высоте уступа более 4,5 м, когда показатель c_w изменяется незначительно в зависимости от режима работы КП, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания, обеспечивающий более высокую производительность отделения монолита.

Список литературы

1. Бархоткин В.В., Извеков Ю.А., Миникаев С.Р. Обзор аварий на крановом оборудовании металлургических производств // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10–1. – С. 9–11.
2. Извеков Ю.А., Кобелькова Е.В., Лосева Н.А. Анализ динамики и вопросы оптимизации металлургического мостовых кранов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6–2. – С. 263–266.
3. Кольга А.Д., Айбашев Д.М. Возможности снижения нагрузок в щековых дробилках // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – №4 (44). – С. 77–80.
4. Пашенко К.Г., Бахматов Ю.Ф., Голубчик Э.М. Влияние пластического растяжения – изгиба в совмещенном процессе удаления окалины – волочения на свойства проволоки // Сталь. – 2011. – №3. – С. 47–50.
5. Першин Г.Д., Пшеничная Е.Г., Уляков М.С. Влияние режима управления работой канатной пилы на ее производительность // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. под ред. Г.Д. Першина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 54–63.
6. Першин Г.Д., Уляков М.С. Анализ влияния режимов работы канатных пил на себестоимость отделения монолитов камня от породного массива // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 125–135.
7. Уляков М.С., Дубровский А.Б. Выбор технологии и оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. под ред. Г.Д. Першина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 59–68.
8. Pashchenko K.G., Bakhmatov Y.F., Golubchik E.M. Influence of plastic tension-flexure on the wire properties in scale removal and drawing // Steel in Translation. – 2011. – Т. 41, № 3. – С. 246–249.
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 // Сборник научных трудов Sworld. Одесса: Куприенко, 2013. – Вып. 3. – Т. 14. – С. 39–42.
10. 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. Одесса: Куприенко, 2013. – Вып. 2. – Т. 11. – С. 64–73.