

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛМАЗНО-КАНАТНЫХ МАШИН ПРИ ДОБЫЧЕ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ

Першин Г.Д., Уляков М.С., Пшеничная Е.Г., Габбасов Б.М.

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

Аннотация. Разработана методика расчёта производительности и удельных энергозатрат для алмазно-канатных машин, применяемых при разработке месторождений блочного природного камня. Расчёты базируются на энергетической теории резания природного камня алмазно-абразивным инструментом, согласно которой производительность камнерезных машин определяется по установленной мощности привода породоразрушающего инструмента и удельного энергопотребления процесса контактного взаимодействия инструмента с породой. При этом определение удельного энергопотребления может включать как экспериментальный путь, так и аналитический. В работе разработан и предлагается аналитический метод нахождения удельных энергозатрат процесса поверхностного разрушения горной породы по её физико-механической константе – энергоёмкости и коэффициентам, выражающим доли суммарной удельной энергии, затрачиваемой на разрушение породы, инструмента и их взаимное трение. Энергоёмкость поверхностного разрушения материала породы, как и её доля в общем балансе энергопотребления, определяются только расчётным путём, исключая влияние взаимного трения инструмента с породой на данные показатели. Энергетическая характеристика материала горной породы, энергоёмкость, представлена через показатель поверхностной контактной прочности, характеризуемой твёрдостью по Бринеллю.

Для адекватного отражения взаимодействия алмазно-абразивного инструмента с породой при расчёте коэффициента её поверхностного разрушения был использован принцип активно работающих алмазных зёрен, согласно которому для фронтального поражения забоя при движении инструмента ему должна соответствовать определённая поверхностная концентрация выступающих над связкой алмазных зёрен. В этом случае реализуется эффективная породоразрушающая способность инструмента при минимальной поверхностной концентрации алмазных зёрен.

Полученные показатели дают возможность аналитическим путём рассчитывать удельное энергопотребление и, таким образом, производительность резания горных пород алмазно-абразивным инструментом в зависимости от режима работы алмазно-канатной машины. Режим резания с постоянной мощностью энергопотребления по отношению к режиму с постоянной скоростью подачи инструмента на забой имеет преимущества в увеличении производительности и снижении удельных энергозатрат, однако при этом существенно повышается удельный расход дорогостоящего алмазного инструмента, что необходимо учитывать в каждом конкретном случае путём расчёта и сопоставления удельной себестоимости резания.

Произведённые расчёты производительности отвечали режиму работы с постоянной мощностью энергопотребления и выполнялись по двум схемам, когда в первом случае удельная работа резания определялась аналитическим путём по предложенной методике и когда удельная работа резания принималась на основе экспериментальных данных. Сравнение расчётов даёт удовлетворительное совпадение (расхождение не более 10 %), что позволяет рекомендовать разработанную комплексную методику для расчёта производительности алмазно-канатных машин при добыче блоков камня различной прочности.

Ключевые слова: производительность, алмазно-канатная машина, удельное энергопотребление, энергоёмкость, режим резания.

Введение

Большинство горных машин при добыче твердых полезных ископаемых реализует поверхностное, послыное разрушение породы. При этом механическая энергия передается через породоразрушающий инструмент. В процес-

се контактного взаимодействия разрушается как порода, так и инструмент, на что и затрачивается вводимая энергия. Кроме этого обязательно возникают потери энергии от совместного трения, которая нагревает инструмент и породу. Для уменьшения влияния нагрева инструмента на его абразивный износ, инструмент активно охлаждают воздухом или водой. Наиболее целесооб-

разно охлаждать пару «порода-инструмент» водой, так как она подавляет пыль и одновременно, являясь контактной смазкой, снижает удельное энергопотребление.

Целью настоящего исследования является совершенствование методики расчёта производительности резания природного камня при его добыче алмазно-канатными машинами на основе энергетического соотношения, связывающего производительность камнерезной машины, установленную мощность привода породоразрушающего инструмента и удельное энергопотребление процесса контактного взаимодействия инструмента с породой.

Методика исследования

Производительность горной машины и ее удельное энергопотребление на процесс поверхностного разрушения породы и инструмента – режимно связанные показатели. Применительно к режущему инструменту данная взаимосвязь описывается следующим уравнением:

$$P = \frac{N}{b \cdot A_{y\partial}}, \quad (1)$$

где P – техническая производительность алмазно-канатной машины, $\text{м}^2/\text{с}$; N – мощность, потребляемая главным приводом алмазно-канатной машины, Вт; b – ширина пропила (диаметр алмазорежущей втулки гибкого инструмента), м; $A_{y\partial}$ – удельная работа резания, Дж/м³.

Выражение (1) является основополагающим в энергетическом методе расчета производительности камнерезных машин по показателям установленной мощности привода породоразрушающего инструмента и его удельного энергопотребления. Как следует из (1), величина производительности лимитируется только установленной мощностью привода, которая принимается исходя из обоснованных параметров режимного поля камнерезной машины. Показатель удельного энергопотребления также зависит от режимных (силового и скоростного) параметров процесса резания, что в сумме и определяет (1) как функцию режима резания горных пород различной прочности. Таким образом, основу расчета производительности по формуле (1) составляет определение либо экспериментальным, либо аналитическим способами удельных энергозатрат. Значительно выгоднее выполнить аналитические расчеты, а затем их результаты проверить экспериментально, на что требуется затра-

тить меньше времени и средств.

Согласно энергетической теории поверхностного разрушения породы резанием аналитический вид удельной работы примем в виде [1]

$$A_{y\partial} = \mathcal{E}_n \cdot \frac{\mu_p^n + \mu_p^u + \mu_{mp}}{\mu_p^n}, \quad (2)$$

где \mathcal{E}_n – энергоёмкость материала породы, Па; μ_p^n , μ_p^u – коэффициенты разрушения материала породы и инструмента; μ_{mp} – коэффициент взаимного трения инструмента и породы.

Энергоёмкость \mathcal{E}_n принимается как физико-механическая константа разрушаемого материала горной породы, а коэффициенты μ_p^n , μ_p^u , μ_{mp} выражают доли суммарной удельной энергии, затрачиваемые на разрушение породы, инструмента и их взаимное трение. Величину $A_{y\partial}$ определяют коэффициенты μ_p^n и μ_p^u , которые функционально связаны с режимными параметрами резания. Для дальнейшего анализа $A_{y\partial}$ представим следующим образом:

$$A_{y\partial} = \mathcal{E}_n \cdot \left(1 + \frac{\mu_{mp}^{yc}}{\mu_p^n} \right), \quad (3)$$

где $\mu_{mp}^{yc} = \mu_p^n + \mu_{mp}$ – условный коэффициент трения, представляющий непроизводительные по отношению к разрушению породы удельные затраты энергии.

Коэффициент разрушения горной породы μ_p^n находится только расчетным путем. Для единичного контакта алмазного зерна с породой величина данного коэффициента была определена в работе [1] следующим образом:

$$\mu_p^n = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \Delta_\sigma \cdot \sqrt{\bar{h}_z}, \quad (4)$$

где $\Delta_\sigma = \tau/\sigma_{сж}$ – отношение пределов прочности на сдвиг и сжатие и определяемое аналитически по теориям прочности или экспериментально на микроуровне разрушения; $\bar{h}_z = h_z/r$ – относительная величина заглупления зерен в поверхность разрушаемой породы; r – радиус алмазного зерна, м.

Формула (4) имеет, скорее, теоретический интерес, чем практический, так как ее расчет построен на упрощенной модели единичного контакта через относительное заглупление зерна в породу, которое в практических условиях не может быть задано по причине отсутствия кон-

троля за ее величиной. Заглубление зерна в породе задается и определяется по скоростям подачи и резания инструмента. В дальнейших исследованиях данная задача была рассмотрена с учетом множественного контакта по модели активно работающих алмазных зерен инструмента [2].

Величина относительного заглубления алмазного зерна в породу характеризует силовой режим взаимодействия инструмента с породой, в кинематической теории резания. В энергетической теории резания силовым режимным параметром является контактное нормальное напряжение σ_n . Согласно [1] напряженно-деформированное состояние динамического контакта инструмента с породой описывается уравнением

$$\sigma_n = \pi \cdot H_B \cdot r^2 \cdot n_F^0 \cdot \bar{h}_z, \quad (5)$$

где H_B – твердость поверхности горной породы по Бринеллю, Па; n_F^0 – количество алмазных зерен, приходящихся на единицу рабочей поверхности режущего элемента, шт./м².

Для модели множественного контакта активно работающих алмазных зерен на основании кинематической и энергетической теорий резания значение величины коэффициента поверхностного разрушения породы алмазно-абразивным инструментом определяется следующим образом:

$$\mu_p^n = \mathcal{E}_n \cdot \frac{r}{t_c} \cdot \frac{\bar{h}_z}{\sigma_n}, \quad (6)$$

где t_c – шаг расположения алмазных зерен в одной линии резания, м.

С учетом уравнения (5) имеем

$$\mu_p^n = \frac{\mathcal{E}_n}{\pi \cdot H_B \cdot r \cdot t_c \cdot n_F^0}. \quad (7)$$

Модель активно работающих алмазных зерен характеризуется следующей взаимосвязью параметров состояния рабочей поверхности и инструмента и силовым режимом его нагружения [2]:

$$r \cdot t_c \cdot n_F^0 = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \bar{h}_z}}. \quad (8)$$

Подстановка (8) в (7) дает

$$\mu_p^n = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{\mathcal{E}_n}{H_B} \cdot \sqrt{\bar{h}_z}. \quad (9)$$

Из энергетической теории резания следует, что величина энергоемкости поверхностного разрушения материала породы \mathcal{E}_n , как удельная энергия, численно равна пределу прочности на сдвиг, т. е. $\mathcal{E}_n = \tau$. Однако методикам определения прочностных показателей материала породы на сдвиг, растяжение, сжатие присущ общий недостаток. С увеличением объема испытуемого образца породы его прочность снижается, т. е. проявляется так называемый «масштабный фактор» [1]. В этом случае можно утверждать, что предел прочности на сдвиг есть физико-механическая характеристика объемной прочности образца, когда с увеличением его объема прочность снижается. Поэтому \mathcal{E}_n как энергетическая характеристика поверхностного разрушения породы алмазно-абразивным инструментом должна определяться через показатели поверхностной контактной прочности, например через твердость по Бринеллю H_B . Следуя методике расчета [1], находим величину \mathcal{E}_n как функцию H_B .

Для случая множественного контакта алмазных зерен с породой из определения коэффициента поверхностного разрушения породы как отношения сдвигающих поверхностный слой сил к контактным нормальным силам имеем

$$\begin{aligned} \mu_p^n &= \frac{\tau}{\sigma_n} \cdot \frac{F_\tau}{F_\sigma} = \Delta_\sigma \cdot \frac{h_z \cdot b \cdot 2 \cdot a}{0,5 \cdot a^2 \cdot \pi \cdot b} = \\ &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \Delta_\sigma \cdot \sqrt{\bar{h}_z}, \end{aligned} \quad (10)$$

где F_τ – площадь сечения, перпендикулярного к движению сферического индентора, м²; F_σ – площадь нормального контакта движущегося индентора, м²; b – ширина алмазорежущей части инструмента, м; $a \approx r \cdot \sqrt{2 \cdot \bar{h}_z}$ – радиус пятна контакта зерна шаровой формы с породой, м.

Совместно решая (10) и (9), получим

$$\mathcal{E}_n = \Delta_\sigma \cdot H_B. \quad (11)$$

Таким образом, коэффициент поверхностного разрушения породы (9) алмазно-абразивным инструментом с учетом полученного выражения (11) будет иметь окончательный вид

$$\mu_p^n = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \Delta_\sigma \cdot \sqrt{\bar{h}_z}. \quad (12)$$

Для представления коэффициента поверхностного разрушения относительно нормального контактного давления инструмента на породу примем уравнение (5), описывающее напряжен-

но-деформированное состояние динамического контакта, при этом поверхностную концентрацию активно работающих алмазных зерен определим на основании работ [1, 2] в виде следующей взаимосвязи:

$$n_F^0 \approx \frac{1}{2 \cdot r \cdot b} \quad (13)$$

На основании вышесказанного получим

$$\mu_p^n = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \Delta_\sigma \cdot \sqrt{\frac{\sigma_n}{E_k}} \quad (14)$$

где $E_k = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r}{b} \cdot H_B$ – модуль контакта инструмента с породой, МПа.

Полученное выражение (14) дает возможность аналитическим путем получать значения коэффициента поверхностного разрушения породы алмазно-абразивным инструментом и, тем самым, с учетом зависимости (11), рассчитывать удельное энергопотребление (3) и производительность (1) процесса резания. На рис. 1 в графическом виде приведена аналитическая зависимость изменения удельных энергозатрат от контактного давления инструмента на породу для различных значений условного коэффициента трения. В расчетах принималось: $\Delta_\sigma = 0,177$; $H_B = 550$ МПа [3]; $r = 2 \cdot 10^{-4}$ м; $b = 1 \cdot 10^{-2}$ м.

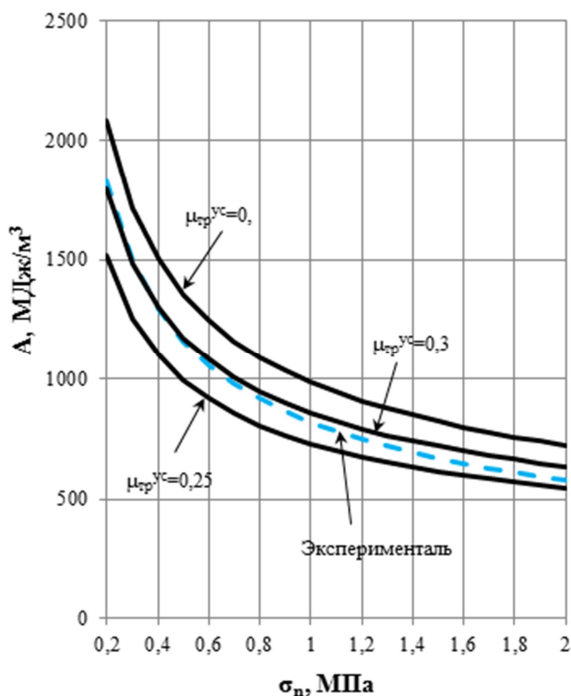


Рис. 1. Зависимость показателя удельной работы резания (A , МДж/м³) от контактного давления инструмента на породу (σ_n)

Для сравнения на рис. 1 показана зависимость удельных энергозатрат, полученная экспериментальным путем, для гранита Мансуровского месторождения ($H_B = 550$ МПа, пунктирная линия). Данная зависимость описывается уравнением вида

$$A_{yo} = \frac{K}{\sigma_n^{0,5}} \quad (15)$$

где $K = 820$ МПа^{0,5} – коэффициент пропорциональности.

Удовлетворительное качественное и количественное соответствие аналитических и экспериментальной кривых является проверкой разработанного математического аппарата для расчета как коэффициента поверхностного разрушения, так и удельных энергозатрат процесса резания природного камня алмазно-абразивным инструментом.

Особенностью резания природного камня добычными алмазно-канатными машинами является непрерывное изменение длины контакта алмазного инструмента с породой. Изменение длины контакта при постоянной скорости подачи машины на забой приводит к постоянному изменению расходуемой мощности на процесс резания. С целью повышения энергетического КПД камнерезной машины процесс резания ведут в режиме постоянной мощности, но при этом контактное нормальное давление инструмента на породу изменяется от некоторого минимального значения до максимального, которые определяют следующими соотношениями:

$$\sigma_n^{\min} = \frac{2 \cdot N}{\pi \cdot \mu \cdot k_n \cdot b \cdot H_y \cdot V_p};$$

$$\sigma_n^{\max} = \frac{2 \cdot N}{\pi \cdot \mu \cdot k_n \cdot b \cdot D_{шк} \cdot V_p} \quad (16)$$

где $\mu = \mu_p^n + \mu_p^u + \mu_{mp}$ – коэффициент распиловки; $N = N_{к.л.}$ – предельная мощность резания; $N_{к.л.}$ – установленная мощность главного привода алмазно-канатной машины, Вт; H_y – высота уступа, м; $D_{шк}$ – диаметр ведущего шкива, м; k_n – коэффициент прерывистости режущей поверхности; V_p – скорость распиловки (скорость движения гибкого режущего органа), м/с.

Режим резания с постоянной мощностью по

отношению к режиму с постоянной скоростью подачи имеет преимущества в увеличении производительности и снижении удельных энергозатрат, однако при этом существенно повышается удельный расход дорогостоящего алмазного инструмента, что необходимо учитывать в каждом конкретном случае путем расчета удельной себестоимости резания [4–6].

Общее решение по определению производительности алмазно-канатной машины будем искать для случая переменной во времени величины контактного нормального напряжения, что предопределяет дифференциальную форму записи выражения производительности (1) с учетом (3) и (4):

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \sigma_n} = \frac{N}{2 \cdot b \cdot \mathcal{E}_n} \cdot \mu_{mp}^{yc} \cdot k_\mu \cdot \frac{\sigma_n^{-0,5}}{\left(k_\mu \cdot \sigma_n^{0,5} + \mu_{mp}^{yc}\right)^2} \quad (17)$$

где $k_\mu = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{\Delta_\sigma}{E_k^{0,5}}$ – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства контакта системы «порода-инструмент», $\text{Па}^{-0,5}$.

Откуда имеем

$$\Pi = \frac{\mu_{mp}^{yc} \cdot k_\mu \cdot N}{2 \cdot b \cdot \mathcal{E}_n} \times \int_{\sigma_n^{\min}}^{\sigma_n^{\max}} \frac{d\sigma}{\sigma_n^{0,5} \cdot \left(k_\mu^2 \cdot \sigma_n + 2 \cdot \mu_{mp}^{yc} \cdot k_\mu \cdot \sigma_n^{0,5} + \left(\mu_{mp}^{yc}\right)^2\right)}$$

Интегрирование осуществим способом подстановки $x = \sigma_n^{0,5}$, $d\sigma_n = 2 \cdot x \cdot dx$, что приводит к табличному интегралу вида

$$\Pi = \frac{\mu_{mp}^{yc} \cdot k_\mu \cdot N}{b \cdot \mathcal{E}_n} \cdot \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \frac{dx}{\left(k_\mu \cdot x + \mu_{mp}^{yc}\right)^2} = \frac{\mu_{mp}^{yc} \cdot k_\mu \cdot N}{b \cdot \mathcal{E}_n} \cdot \left[-\frac{1}{k_\mu \cdot \left(k_\mu \cdot x + \mu_{mp}^{yc}\right)} \right]_{x_{\min}}^{x_{\max}}$$

Возвращаясь к первоначальной переменной, получаем:

$$\Pi = -\frac{\mu_{mp}^{yc}}{b} \cdot \frac{N}{\mathcal{E}_n} \cdot \frac{1}{\left(k_\mu \cdot \sigma_n^{0,5} + \mu_{mp}^{yc}\right)} \Big|_{\sigma_n^{\min}}^{\sigma_n^{\max}}$$

Подстановка пределов интегрирования дает следующую окончательную зависимость:

$$\Pi = \frac{\mu_{mp}^{yc} \cdot k_\mu \cdot N}{b \cdot \mathcal{E}_n} \times \frac{\left(\sigma_n^{\max}\right)^{0,5} - \left(\sigma_n^{\min}\right)^{0,5}}{\left(k_\mu \cdot \left(\sigma_n^{\max}\right)^{0,5} + \mu_{mp}^{yc}\right) \cdot \left(k_\mu \cdot \left(\sigma_n^{\min}\right)^{0,5} + \mu_{mp}^{yc}\right)} \quad (18)$$

Результаты исследования

Анализируя полученное выражение, видим, что при $\mu_{mp}^{yc} \rightarrow 0$; $A_{y0} \rightarrow \mathcal{E}_n$, $\frac{\partial \Pi}{\partial \sigma_n} \rightarrow 0$, $\Pi \rightarrow 0$, т.

е. задача определения производительности резания в такой постановке не имеет физического смысла, так как μ_{mp}^{yc} представляет собой долю энергии, затрачиваемой на разрушение инструмента и его взаимное трение с породой. При механическом воздействии инструментом на породу нельзя ее разрушить, не затратив при этом непроизводительную долю энергии, связанную с разрушением инструмента и трением.

Целью данной работы являлось получение точных зависимостей для расчета производительности и удельных энергозатрат процесса резания гибким алмазным инструментом в режиме постоянной мощности. Ранее в работе [4] аналогичная задача была решена, но в упрощенном варианте, когда удельные энергозатраты на основе экспериментальных данных принимались в форме (15), что позволяло наиболее простым способом получить формулу для расчета производительности:

$$\Pi_N = \frac{N}{K \cdot b} \cdot \left(\frac{2 \cdot N}{\mu \cdot k_n \cdot b \cdot V_p} \right)^{0,5} \times \left[\left(\frac{1}{\pi \cdot D_{ук}} \right)^{0,5} - \left(\frac{1}{\pi \cdot H_y} \right)^{0,5} \right] \quad (19)$$

На рис. 2 в графическом виде приведены зависимости изменения производительности алмазно-канатной машины от высоты обрабатываемого уступа, рассчитанные по формулам (18) и (19), т. е. по точной и упрощенной методикам. В расчётах принималось: $N=25,47$ кВт, $\mu_{pac}=0,25$, $k_n=0,16$, $b=0,01$ м, $D_{ук}=0,8$ м, $V_p=30$ м/с.

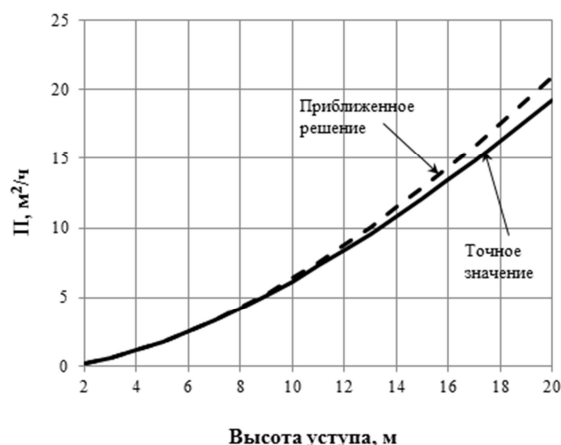


Рис. 2. Зависимости производительности алмазно-канатной машины от высоты обрабатываемого уступа, рассчитанные по точной и упрощенной методикам

Как показывает численное сравнение, приближенный метод расчета дает удовлетворительное совпадение с точным (расхождение не более 10%, см. таблицу).

Сравнение численных значений производительности пиления гранита Мансуровского месторождения ($N = const$) для точного и приближенного решений

H_y , м	P_N , м²/ч		Расхождение, %
	Точное значение	Приближенное значение	
2	0,21	0,20	-4,22
3	0,61	0,59	-2,84
4	1,14	1,12	-1,68
5	1,77	1,76	-0,67
6	2,50	2,51	0,23
7	3,32	3,35	1,05
8	4,21	4,28	1,80
9	5,17	5,30	2,50
10	6,19	6,39	3,15
11	7,27	7,56	3,76
12	8,42	8,80	4,33
13	9,61	10,10	4,88
14	10,85	11,47	5,40
15	12,15	12,91	5,90
16	13,48	14,40	6,38
17	14,86	15,95	6,83
18	16,29	17,56	7,27
19	17,75	19,23	7,70
20	19,25	20,95	8,11

Так как приближенная методика расчета основывалась на использовании удельной работы разрушения $A_{уд}$, полученной на основе эксперимента, то помимо сравнения расчетов по формулам (18) и (19) кривые, приведенные на рис. 2, дают возможность сопоставить теорию и эксперимент. При этом минимальное расхождение будет наблюдаться, если коэффициент пропорциональности K будет определен экспериментальным путем либо теоретическим:

$$K = \mathcal{E}_n \cdot \left(\sigma_n^{0,5} + \frac{\mu_{mp}^{yc}}{k_\mu} \right), \quad (20)$$

где контактное нормальное напряжение σ_n должно соответствовать средней величине между σ_n^{\min} и σ_n^{\max} (16).

Список литературы

1. Першин Г.Д., Гуров М.Ю., Чеботарёв Г.И. Канатные пилы. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. 152 с.
2. Першин Г.Д., Митин А.Н. Геометрические характеристики модели контактной поверхности породоразрушающего алмазно-абразивного инструмента // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 10–13.
3. Ахметшин А.М. Аналитический метод определения сопротивления породы поверхностному разрушению // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 199–203.
4. Першин Г.Д., Уляков М.С. Анализ влияния режимов работы канатных пил на эффективность отделения монолитов природного камня от массива // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №4 (48). С. 14–21.
5. Акопян Р.В., Лусинян К.Г. Исследование влияния режимов резания на износ алмазных элементов алмазно-канатного режущего инструмента // Изучение природных каменных материалов и силикатного сырья, разработка эффективной техники и технологии производства: сб. науч. тр. Ереван: НИИКС, 1983. С. 40–49.
6. Левицкий В.Г., Соболевский Р.В. Обґрунтування оптимальних технологічних параметрів видобування гранітних блоків на основі показників тріщинуватості // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 3. № 3 (69). С. 48–52.

Материал поступил в редакцию 10.03.15.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-2-18-24

ENERGY BASED DIAMOND CUTTING MACHINE PERFORMANCE CALCULATION METHOD USED FOR FACING STONE EXTRACTION

Pershin Gennadiy Daltonovitch – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

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

Pshenichnaya Elena Gennadievna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pshenichnaya_e@mail.ru.

Gabbasov Bulat Maratovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: bulatg74@mail.ru.

Abstract. A performance and specific energy calculation procedure has been developed for diamond cutting machines used for the mining of natural stone blocks. The calculations are based on the natural stone diamond cutting theory according to which the stone cutting machine performance can be determined by the rated drive power of the cutting tool and by the specific energy of the tool-rock interaction. The specific energy can be estimated either through experiment or analytically. The work offers an analytical method of determining the specific energy of the rock surface destruction process based on energy consumption and ratios which are fractions of the total specific energy used for rock destruction, the tool and the friction between the rock and the tool. The energy capacity of the rock surface destruction process and its percentage ratio of the total energy consumption can only be determined through calculations which do not allow for friction. The energy capacity of the rock is described by the surface contact hardness which is Brinell hardness.

For a more accurate interaction between the diamond cutting tool and the rock when calculating the rock surface destruction factor, an active diamond grain principle was applied. The principle says that for front-end hole coverage a cutting tool should have a certain percentage of single-point diamonds. This helps to achieve an efficient rock destruction at the lowest percentage of single-point diamonds.

With the help of the data collected, it was possible to analytically estimate the specific energy and thus the diamond cutting performance depending on the cutting mode. Cutting at a constant specific energy has a number of advantages over cutting at a constant advance speed of the tool, which includes a higher performance and a lower specific energy. At the same time the energy based cutting mode leads to an increased specific tool consumption, which should be taken into account in each particular case by way of estimating and comparing the specific cutting cost.

The performance calculations performed were done for the cutting at a constant specific energy and followed two different patterns. In the first instance the specific cutting performance was estimated analytically based on

the proposed procedure. And in the second instance the specific cutting performance was calculated based on the experimental data. Comparison of the two outcomes showed a discrepancy of no more than 10%, which means that the procedure developed can be recommended as a comprehensive method of estimating the performance of diamond cutting machines used to cut stone blocks of differing hardness.

Keywords: Performance, diamond cutting machine, specific energy, energy capacity, cutting mode.

References

1. Pershin G. D., Gurov M. Iu., Chebotaryov G. I. Rope saws. *Obosnovanie konstruktivnykh parametrov i rezhimov* [Justification of design parameters and operating modes]. Monograph. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2006, 152 p.
2. Pershin G. D., Mitin A.N. Geometry of a diamond cutting tool contact surface model. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 1 (41), pp. 10-13.
3. Akhmetshin A.M. An analytical method to determine the surface breakage resistance of rock. *Dobycha, obrabotka i primeneniye prirodnogo kamnya* [Extraction, processing and application of natural stone]. Scientific papers. Magnitogorsk: MG TU. 2004, pp. 199-203.
4. Pershin G. D., Ulyakov M. S. Analyzing the effect of operating modes of rope saws on natural stone severance performance. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, no. 4 (48), pp. 14-21.
5. Akopyan R. V., Lusinyan K.G. A study of the effect of cutting modes on the diamond wear of diamond cutting tools. *Izuchenie prirodnikh kamennykh materialov i silikatnogo syrya, razrabotka effektivnoy tekhniki i tekhnologii proizvodstva* [Study of natural stones and silicate raw materials, development of efficient machinery and process technology]. Scientific papers. Yerevan: NIIKS. 1983, pp. 40-49.
6. Levitsky V. G., Sobolevsky R. V. Justification of optimum granite extraction parameters based on cleavage. *Vostochno-Evropeyskii zhurnal peredovykh tekhnologii* [East European Journal of Advanced Technologies]. 2014, vol. 3, no. 3 (69), pp. 48-52.

Энергетический метод расчета производительности алмазно-канатных машин при добыче облицовочного камня / Першин Г.Д., Уляков М.С., Пшеничная Е.Г., Габбасов Б.М. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 18–24. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-18-24

Pershin G.D., Ulyakov M.S., Pshenichnaya E.G., Gabbasov B.M. Energy based diamond cutting machine performance calculation method used for facing stone extraction. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 2, pp. 18–24. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-18-24