**SWorld –** *218-27 December 2012*

*http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/december-2012*

**Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education‘ 2012**

Доклад / Технические науки – Разработка полезных ископаемых и геодезия

**УДК 622.35:622.271.4**

Уляков М. С.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ К ВЫЕМКЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО КАМНЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СО СЛОЖНЫМИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ЗАЛЕГАНИЯ

*ФГБОУ ВПО “Магнитогорский государственный технический университет*

*им. Г. И. Носова”, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина 38, 455000*

**UDC 622.35:622.271.4**

Ulyakov M. S.

IMPROVEMENT OF PREPARATION PROCESS FOR HIGH-TENSILE STONES RECESS ON THE DEPOSIT WITH COMPLICATED GEOLOGICAL CONDITIONS OF BEDDING

*Federal State Budget Educational Institution "Magnitogorsk state technical university*

*na G.I. Nosov", Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue 38, 455000*

*Установлена зависимость величины технологических потерь блочной продукции от высоты уступа. Предложена методика расчета оптимальной высоты уступа в зависимости от геометрических характеристик природных трещин горного массива. Рекомендована методика выбора рационального режима управления алмазно-канатной машиной, учитывающего его влияние на производительность и себестоимость пиления в зависимости от высоты уступа.*

*Ключевые слова: алмазно-канатная машина, производительность, расход инструмента, удельная работа резания, себестоимость.*

*The dependence of the magnitude of technological losses of block production of the ledge height. The methods of calculating the optimum height of the ledge were suggested, depending on the geometrical characteristics of the natural cracks mountain mass. The methods of choosing the rational management regime diamond cable car were recommended, taking into account its impact on productivity and cost cutting, depending on the height of the ledge.*

*Key words: diamond cable car, performance, flow instrument, the specific work of cutting costs.*

Шпуровой способ отделения объемов камня от массива с использованием различных распорных средств (механические и гидроклинья, шланговые ВВ, невзврывчатые разрушающие смеси НРС, газогенераторы давления шпуровые ГДШ) повсеместно применяется на «пластовых» месторождениях. Для месторождений со сложными горно-геологическими условиями залегания (с системами круто- (δ≥45°) и пологопадающих (δ<45°) трещин) такой способ подготовки блоков к выемке не эффективен из-за дорогостоящих и длительных во времени горно-подготовительных работ при низком выходе блочной продукции. Мировой опыт ведущих в отрасли добычи высокопрочного камня предприятий свидетельствует о широком применении алмазно-канатных машин (АКМ) в процессе подготовки блоков камня к выемке. Гибкий алмазный инструмент позволяет отрабатывать горный массив высокими уступами по двухстадийной схеме, что существенно повышает выход блочной продукции. Повышение высоты уступа, в свою очередь, ведет к увеличению длины контакта алмазного инструмента с породой и, таким образом, к повышению мощности резания, что необходимо учитывать при выборе типа АКМ.

С технологической точки зрения, важнейшей является задача определения рациональной высоты уступа (), которая обеспечивает безопасность ведения горных работ, установленную производственную мощность карьера по горной массе, минимальные затраты на вспомогательные операции и низкую себестоимость продукции. Она может быть найдена из условия минимальных технологических потерь блочной продукции, т.е. из условия максимального выхода товарных блоков. В зависимости от природной трещиноватости массива проф. Г.Д. Першиным разработана методика расчета технологических потерь блочной продукции. Технологическими потерями согласно ГОСТ 9479-98 считаются объемы камня, не вписывающиеся в форму прямоугольного параллелепипеда или близкую к нему. При этом прямоугольные параллелепипеды предложено вписывать в природные отдельности таким образом, чтобы ширина параллелепипеда соответствовала расстоянию между первой (основной) системой трещин, у которой расстояние между трещинами наименьшее, а длина параллелепипеда будет определяться расстоянием между второй системой трещин, у которой расстояние между трещинами больше, чем у первой. Высота параллелепипеда определяется шириной монолита (B), выбираемой с учетом третьей системы трещин и требований к возможности опрокидывания монолита на рабочую площадку для его разделки на товарные блоки. Направление фронтальной плоскости монолита, т. е. направление фронта работ, задается ортогонально азимуту простирания первой основной системы трещин. Предложенная схема расположения монолита по отношению к системам природных трещин дает предпосылки минимизировать технологические потери блочной продукции, если высота и длина (L) монолита будут выбраны как рациональные величины.

Согласно методике расчета (по Г. Д. Першину) высота монолита определяется расстоянием, кратным природным отдельностям второй системы трещин, а длина *–* расстоянием, кратным отдельностям первой и второй систем трещин. В этом случае численные расчеты высоты и длины ведутся на основании плоской модели, в которой проекции прямоугольных параллелепипедов на фронтальную плоскость монолита преобразуются в прямоугольники. Из плоской модели для встречнонаправленных трещин первой и второй систем следует:

, (1)

, (2)

, (3)

где *nк* и *nп* – количество отдельностей круто- и пологопадающих систем трещин массива; *к,*  *п* – углы падения круто- и пологопадающих систем трещин, град; *γ –* угол между круто- и пологопадающими системами трещин, град; *lк* и *lп* – расстояние между круто- и пологопадающими системами трещин, м, – коэффициент относительных технологических потерь блочной продукции.

Суммарные относительные технологические потери блочной продукции предложено записать и как функцию высоты уступа (1), в результате выражение (3) примет следующий вид:

. (4)

Нахождение экстремумов технологических потерь по условию

(5)

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

. (6)

Определение оптимальной высоты уступа позволяет найти из (1) и длину монолита, как рациональную величину:

. (7)

Как видим из полученных выражений (6) и (7), каждому целочисленному значению *nк* при заданной характеристике трещиноватости массива соответствует оптимальное значение высоты уступа и рациональная величина длины монолита, которым отвечает условие минимальных технологических потерь блочной продукции, т. е. условие максимального выхода блоков.

Для оценки влияния режима работы АКМ на себестоимость пиления необходимо определить рациональные размеры отделяемого монолита. В случае разрабатываемого Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиорита (*к*=*68°,* =65*°, lк*=1,9 м, *lп*=2 м, *nк*=3) =5,6 м. Длина монолита по выражению (2) составляет L=8,4 м. С учетом условия наибольшего выхода блоков из монолита и возможности его опрокидывания принимается B=1,7 м.

На технико-экономические показатели резания камня при отделении монолита от массива влияют его линейные размеры (H, L, B) и режимы работы АКМ. Экономическая оценка работы АКМ производится с учетом производительности резания, удельного расхода электроэнергии и алмазного инструмента. Удельные эксплуатационные затраты (руб./м2) на отделение монолита от массива с помощью АКМ при этом определяются проф. Г.Д. Першиным по зависимости

, (8)

где Со, Сэ, Си – стоимости соответственно работы канатной пилы (руб./ч), электроэнергии (руб./кВт∙ч), алмазного инструмента (руб./карат); Kио= 0,75 – расчетный коэффициент использования канатной пилы во времени; Rуд – удельный расход алмазного инструмента; *b* – ширина пропила (диаметр алмазорежущей втулки гибкого инструмента), м; – содержание алмазов в единице объема алмазонесущего 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 АКМ САО+ЗП; второе слагаемое – это затраты на электроэнергию, потребляемую двигателем в процессе резания СЭЭ, а третье – затраты, связанные с расходом алмазного инструмента САИ.

В настоящее время применяются две схемы управления работой АКМ. В первой из них – заданием на пульте управления силы тока определенной величины выдерживается постоянная мощность главного привода (*N=const*), но изменяется скорость подачи тележки машины (*Vп=var*). С изменением скорости подачи пропорционально изменяется и силовой режим резания, т. е. величина контактного давления инструмента на породу (*σn=var*). Во второй схеме – тележке АКМ задается постоянная скорость перемещения (*Vп=const*). В режиме постоянной скорости подачи обеспечивается неизменным контактное давление инструмента на породу (*σn=const*). Применяемые схемы управления работой АКМ влияют только на силовой режим резания. В первой схеме он переменный, а во второй – постоянный во времени. Силовой режим определяет и производительность резания, и мощность главного привода камнерезной машины, влияющие на удельное энергопотребление и расход дорогостоящего алмазного инструмента. Определяющим показателем любой камнерезной машины является ее производительность, а остальные технико-экономические показатели во многом производны от нее. Исходным уравнением для дальнейших расчетов является взаимосвязь основных показателей процесса резания:

, (9)

где *Ауд* – удельная работа резания, Дж/м3; *П* – производительность АКМ, м2/с; *N* – мощность, потребляемая главным приводом АКМ, Вт.

Для алмазного инструмента при распиловке различных горных пород функциональная зависимость *Ауд* от *σn*  (рис. 1, пунктирная линия) имеет вид

, (10)

где К – зависящий от физико-механических свойств породы коэффициент пропорциональности (МПа1,5).

**Рис. 1. Зависимость удельной работы распиловки гранита   
Мансуровского месторождения от контактного давления   
и глубины (h) пропила: 1** и **2** –точки для определения коэффициентов ***K*** и ***k.***

Численное значение коэффициента *K* может быть получено на основе стендовых испытаний при резании гранитов алмазно-дисковым инструментом. В результате проведения данных испытаний и обработки экспериментальных значений *Ауд* от *σn* для Мансуровского гранита получено значение К=820 МПа1,5 (*σсж=*100-120 МПа).

Общее решение по определению производительности АКМ находится для случая переменной во времени величины контактного нормального напряжения, что предопределяет дифференциальную форму записи выражения производительности (9) с учетом (10):

. (11)

Пределы интегрирования, соответствующие минимальному и максимальному значениям контактного нормального напряжения, определяются с учетом максимальной и минимальной длины контакта

; , (12)

из выражения мощности резания:

, (13)

где *hпр* – высота пропила, м; *Dшк* – диаметр ведущего шкива, м; *φд* – дополнительный угол охвата, рад; *µ* и *kп* – коэффициенты распиловки и прерывистости режущей поверхности; *σn* – давление инструмента на породу, Н/м2; *lk* – длина контакта инструмента с породой, м; *b* – диаметр режущей втулки, м; *Vp* – скорость распиловки (скорость движения гибкого режущего органа), м/с.

Подстановка (12) в (13) дает

; . (14)

В результате интегрирования (11) с учетом пределов (14) имеем:

. (15)

В случае применения второй схемы управления, когда в процессе резания выдерживается постоянным силовой режим, величина контактного нормального напряжения (), отвечающего данному режиму, в общем виде определяется условием (14). Учет в (14) только , как постоянной величины в процессе резания, позволяет определить максимальное значение производительности в момент достижения максимальной длины контакта инструмента с породой. Для реализации алмазосберегающего режима распиловки необходимо, чтобы , т. е. отвечало условию минимального удельного расхода алмазного инструмента (рис. 2).

Rуд∙γа

Ауд

**Рис. 2. Зависимости удельного расхода (Rуд) алмазного инструмента и удельной работы резания (Aуд) от нормального контактного давления (σn) для пород с σсж=100-120 МПа.**

При заданной установленной мощности главного привода АКМ это условие выполнимо, когда , в противном случае необходимо повышать мощность главного привода камнерезной машины. Подстановкой полученного оптимального значения высоты уступа (6) в (12) находится наибольшая мощность двигателя АКМ согласно (13) (реализуется при резании продольной плоскости, когда *kф ≥ 1 и* ). Полученное значение N=25,47 кВт (для условий распиловки гранодиорита Нижне-Санарского месторождения) удовлетворяет характеристикам АКМ с мощностью двигателя 37 кВт при загрузке их на 69 %.

Для алмазосберегающего режима работы АКМ максимальная производительность определяется выражением

. (16)

Средняя производительность АКМ по ее максимальному значению (16) рассчитывается согласно методике проф. Г.Д. Першина:

.

Отношение производительностей при двух режимах запишем в виде

; (17)

, (18)

где *Км<1* – коэффициент влияния геометрии плоскости отделения монолита на среднюю производительность резания от ее максимального значения; *kф=L/H≥1* – коэффициент формы продольной плоскости отделения, в этом случае *.*

Отличительной особенностью поперечного пропила, отделяющего монолит камня от массива, является его вытянутая в вертикальном направлении прямоугольная форма, когда длина плоскости отделения равна ширине монолита и выполняется условие *kф=B/H<1*. В этом случае максимальная высота пропила не равна высоте уступа и находится из уравнения

, (19)

что в итоге изменяет величину коэффициента *Км* в (17), а его расчетная величина в этом случае определяется как

. (20)

Тогда их отношение запишется в следующем виде:

. (21)

На рис. 3 представлено отношение производительностей резания АКМ (17), (21), управляемой по рассмотренным выше силовым режимам.

**Рис. 3. Зависимость отношения производительностей резания при различных режимах работы АКМ от высоты уступа.**

При этом, начиная с высоты уступа 2-4 м, производительность резания в режиме *N=const* по отношению к режиму *VП=const* возрастает по степенной зависимости в соответствии с формой плоскости отделения. Так, при высоте уступа =5,6 м отношение производительностей составляет 1,3-2,2 в зависимости от величины коэффициентов *Км* и *kф*.

Реализуемое в процессе резания энергопотребление, для расчета удельных затрат по формуле (8), определяется согласно режиму работы АКМ:

, . (22)

Тогда их отношение запишется в следующем виде:

. (23)

kф=0,3

kф=1,5

**Рис. 4. Зависимость отношения среднего (в режиме N=const) и соответствующего (в режиме VП=const) значений удельной работы резания от высоты уступа.**

Средняя удельная работа резания (в режиме *N=const*) по отношению к удельной работе резания, соответствующей (в режиме *VП=const*), возрастает в соответствии с формой плоскости отделения (рис. 4). Так, при высоте уступа =5,6 м отношение удельных работ составляет 1,5-2 в зависимости от величины коэффициента *kф*.

Удельный расход алмазного инструмента (*Rуд*), как и удельная работа резания (*Aуд*), может быть получен на основе стендовых испытаний. Для дальнейших расчетов были приняты экспериментальные данные к.т.н. К.Г. Лусиняна по резанию алмазным инструментом природного камня различной прочности. В результате обработки экспериментальных точек была получена следующая аппроксимирующая зависимость *Rуд*от *σn*:

, (24)

решение которой при условии дает оптимальное контактное давление . Его подстановка в (24) и определяет расход алмазного инструмента в режиме *VП=const*:

. (25)

Численные значения аппроксимирующих коэффициентов -1,46\*10-5, 0,376\*10-5 МПа, 10,5\*10-5 1/МПа были получены при резании природного камня с *σсж=*120-140 МПа. Для режима *N=const* удельный расход может быть получен как средняя интегральная величина:

. (26)

Тогда их отношение запишется в следующем виде:

. (27)

kф=0,3

kф=1,5

**Рис. 5. Зависимость отношения среднего (в режиме N=const) и минимального (в режиме VП=const) значений удельного расхода алмазного инструмента от высоты уступа.**

Среднее значение удельного расхода алмазного инструмента (в режиме *N=const*) по отношению к минимальному (в режиме *VП=const*) возрастает в соответствии с формой плоскости отделения (рис. 5). Так, при высоте уступа =5,6 м отношение значений удельного расхода алмазного инструмента составляет 1,9-3,4 в зависимости от величины коэффициента *kф*.

Экономические показатели при различных параметрах и режимах распиловки алмазно-канатным инструментом гранодиорита Нижне-Санарского месторождения (объем монолита W=79 м3) приведены в табл. 1, 2.

**Таблица 1**

**Расчетные параметры и технико-экономические показатели   
работы АКМ в режиме VП=const**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Режим | VП=const, σn=const, σn min=0,2 МПа, Ауд= 1833,58 МДж/м3 | | |
| Вид плоскости отделения (kф) | Горизонтальная (0,2) | Поперечная (0,3) | Продольная (1,5) |
| Nmax, кВт | 8,24 | 12,18 | 25,47 |
| Rудmin∙γа, кар/м3 | 55,31 | | |
| КМ | 0,63 | 0,60 | 0,70 |
| Пmax, м2/ч | 1,62 | 2,39 | 5,00 |
| Пср, м2/ч | 1,01 | 1,42 | 3,48 |
| Nуд,кВт•ч/м2 | 18,34 | | |
| САО+ЗП, руб./м2 | 391,69 | 279,69 | 114,36 |
| СЭЭ, руб./м2 | 15,80 | | |
| САИ, руб./м2 | 158,07 | | |
| СS, руб./м2 | 565,56 | 453,56 | 288,23 |
| S, м2 | 14,11 | 9,41 | 47,04 |
| tпиления, ч | 14,1 | 6,7 | 13,5 |
| ∑tпиления, ч | 34,4 | | |
| С, тыс. руб. | 7,98 | 4,27 | 13,56 |
| ∑С (по монолиту), тыс. руб. | 25,81 | | |

**Таблица 2**

**Расчетные параметры и технико-экономические показатели   
работы АКМ в режиме N=const**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Режим | N=const, σn=var | | |
| Вид плоскости отделения (kф) | Горизонтальная (0,2) | Поперечная (0,3) | Продольная (1,5) |
| N, кВт | 8,24 | 12,18 | 25,47 |
| σn max, МПа | 0,57 | 0,81 | 1,69 |
| Аудср, МДж/м3 | 1364,34 | 1219,42 | 938,91 |
| Rуд∙γа, кар/м3 | 78,21 | 103,20 | 198,00 |
| П, м2/ч | 1,10 | 2,41 | 9,54 |
| Nуд,кВт•ч/м2 | 13,64 | 12,19 | 9,39 |
| САО+ЗП, руб./м2 | 362,96 | 165,00 | 41,69 |
| СЭЭ, руб./м2 | 11,75 | 10,51 | 8,09 |
| САИ, руб./м2 | 223,54 | 294,94 | 565,89 |
| СS, руб./м2 | 598,26 | 470,45 | 615,67 |
| tпиления, ч | 13,0 | 4,0 | 4,9 |
| ∑tпиления, ч | 21,9 | | |
| С, тыс. руб. | 8,44 | 4,43 | 28,97 |
| ∑С (по монолиту), тыс. руб. | 41,83 | | |

По формуле (8) были рассчитаны удельные себестоимости резания плоскостей отделения монолита от массива, что позволило представить в графическом виде отношения удельных себестоимостей при различных режимах работы АКМ от высоты уступа (рис. 6).

kф=0,3

kф=1,5

**Рис. 6. Зависимость отношения удельных себестоимостей резания плоскостей при различных режимах работы АКМ от высоты уступа.**

Удельные себестоимости резания плоскостей в режиме *N=const* по отношению к режиму *VП=const* возрастает (рис. 6) в соответствии с формой плоскости отделения. Так, при высоте уступа =5,6 м отношение значений себестоимости Сs(N)/Сs(V)  составляет 1-2 в зависимости от величины коэффициента *kф*.

Основным результатом проведенных исследований и полученных зависимостей (8), (17), (21), (23), (27) 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 АКМ.

Анализ таких итоговых показателей, как производительность отделения монолита от массива (рис. 7, а) и эксплуатационные затраты на отделение (рис. 7, б) в зависимости от высоты уступа для различных режимов работы АКМ не позволяет выделить преимущества одного режима работы АКМ от другого, так как повышение производительности отделения монолита сопровождается повышением эксплуатационных затрат на его отделение при работе в режиме постоянной мощности резания и, наоборот, когда снижению эксплуатационных затрат соответствует понижение производительности, если АКМ работает в режиме постоянной скорости подачи.

В этом случае корректная оценка зависимости режима работы АКМ от высоты уступа может быть дана на основе комплексного технико-экономического показателя:

, (28)

где – эксплуатационные затраты на отделение монолита от массива, тыс. руб.; – производительность отделения монолита от массива, м3/ч.

Тогда выбор режима работы АКМ в зависимости от высоты уступа осуществляется по минимальной величине предложенного комплексного показателя (рис. 7, в).

а б

N=const

Vп=const

Vп=const

N=const

в

N=const

Vп=const

**Рис. 7. Зависимость от высоты уступа (при различных режимах работы АКМ): а – производительности отделения монолита от массива с помощью АКМ (W/t, м3/ч); б – эксплуатационных затрат на отделение монолита от массива (∑C, тыс. руб.); в – комплексного технико-экономического показателя (cw, руб.\*ч/м3)**

Как видно из рис. 7, в, при отделении монолита с высотой добычного уступа менее 5 м предпочтение следует отдавать режиму с постоянной скоростью подачи АКМ на забой. При высоте уступа более 5 м, когда показатель сw изменяется незначительно от режима работы АКМ, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания, обеспечивающий более высокую производительность отделения монолита.

**Выводы**

1. Повышение эффективности процесса подготовки блоков к выемке по отношению к шпуровому способу на месторождениях с системами круто- и пологопадающих трещин достигается при использовании комбинированного способа по двухстадийной высокоуступной схеме, когда на первой стадии от горного 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.
2. Установлена зависимость величины технологических потерь блочной продукции от высоты уступа. Предложена методика расчета оптимальной высоты уступа в зависимости от геометрических характеристик природных трещин горного массива и выбора типа АКМ по наибольшей мощности двигателя (реализуется при резании продольной плоскости, когда kф ≥ 1 и hпр=Hу). В случае разрабатываемого Юго-Восточного участка Нижне-Санарского месторождения гранодиорита *Hуоп*=5,6 м. При этом наибольшая мощность двигателя АКМ составляет N=25,47 кВт, что удовлетворяет характеристикам АКМ с мощностью двигателя 37 кВт при загрузке их на 69 %.
3. Производительность и эксплуатационные затраты на отделение монолита от массива с помощью АКМ, работающей в режиме постоянной мощности резания при высоте уступа 5-12 м повышаются в 2-3 раза по отношению к режиму постоянной скорости подачи АКМ на забой, что не дает основания по данным показателям выявить преимущества одного режима от другого.
4. С целью обоснования режима работы АКМ в зависимости от высоты уступа за критерий оценки принимается комплексный технико-экономический показатель (сw), характеризуемый затратами, отнесенными к интенсивности отделения объемов камня от массива. Выбор рационального режима работы АКМ от высоты уступа достигается путем минимизации величины этого комплексного показателя.
5. При отделении монолита с высотой добычного уступа менее 5 м предпочтение следует отдавать режиму с постоянной скоростью подачи АКМ на забой. При высоте уступа более 5 м, когда показатель сw изменяется незначительно в зависимости от режима работы АКМ, целесообразен режим работы с постоянной мощностью резания, обеспечивающий более высокую производительность отделения монолита.