

УДК 622.233

**ТЕХНОЛОГИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОТ МАССИВА КАМНЯ  
МОНОЛИТОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**М. М. Исманов**

*Кыргызско-Узбекский университет, E-mail: ismanov1970@mail.ru,  
ул. Г. Айтиева, 27, 723500, г. Ош, Кыргызская Республика*

Предложена перспективная технология отделения от массива камня монолитов и строительных изделий-заготовок алмазно-канатной машиной, обеспечивающая снижение трудоемкости, себестоимости и потерь сырья, повышение производительности технологического процесса. Разработана расчетная схема и получены зависимости величины потерь сырья от различных параметров данной технологии. Сформулированы основные требования к технологии и определены пути совершенствования конструкций алмазно-канатных машин с учетом минимизации потерь сырья.

*Массив камня, монолит, блок, технология отделения, алмазно-канатная машина, бурение, скважина, шпур, шкив, режущий алмазный канат*

Исследования [1–3] показали, что существующие конструкции камнерезных машин, технологии добычи и распиловки блоков камня на облицовочные изделия нуждаются в дальнейшем развитии и совершенствовании. Это обусловлено тем, что потери сырья при добыче блоков природного камня достигают 35–70 %, а при обработке камня составляют, в зависимости от его вида и принятой технологии, от 25 до 85 % [3–5]. В среднем 50 % от объема блоков превращаются в отходы, которые требуют дополнительных расходов на транспортировку и переработку. В итоге суммарные потери минерального сырья при добыче и обработке блоков природного камня могут составлять 50–80 % от общего объема извлекаемой горной массы.

В последнее время, благодаря своей эффективности и технологичности отделения монолитов и крупных блоков от массива природного камня, широкое применение на карьерах находят алмазно-канатные машины (АКМ) различной конструкции [6–8].

Недостатком традиционных технологий использования алмазно-канатных машин является необходимость бурения шпуров в массиве камня по трем взаимно перпендикулярным плоскостям отделения монолита: по пересекающимся координатным осям — одного вертикального и двух горизонтальных шпуров — для пропуска алмазного каната по ним и последовательного выполнения резов по каждой плоскости. Бурение горизонтальных и особенно глубоких шпуров при больших размерах отделяемого монолита — трудоемкий процесс. Из-за заклинивания буровой коронки и вибраций станка может происходить отклонение буровой штанги от намеченной оси и непересечение вертикальных и горизонтальных шпуров в одной точке, что вызывает сложности проведения через них режущего алмазного каната.

В связи с этим упрощение технологии, снижение трудоемкости и повышение эффективности процесса отделения монолитов и строительных изделий-заготовок от массива природного камня с минимальными потерями сырья является актуальной задачей.

Для решения указанных проблем предлагается следующая перспективная технология. В массиве камня бурят скважину для установки центральной поворотной стойки с проникающими шкивами. При этом сначала выполняют вертикально-продольную и вертикально-поперечную щели с помощью предуступной стойки с ведущим шкивом и устанавливают ее в плоскостях резов. Затем центральную стойку вынимают и режут горизонтальную щель, переустанавливая ведущий шкив в горизонтальное положение на подошве уступа. Разделку монолита на блоки и другие строительные изделия-заготовки, не изменяя его положение на карьере, осуществляют только одним резом, используя ведущий шкив алмазно-канатной машины (рис. 1).

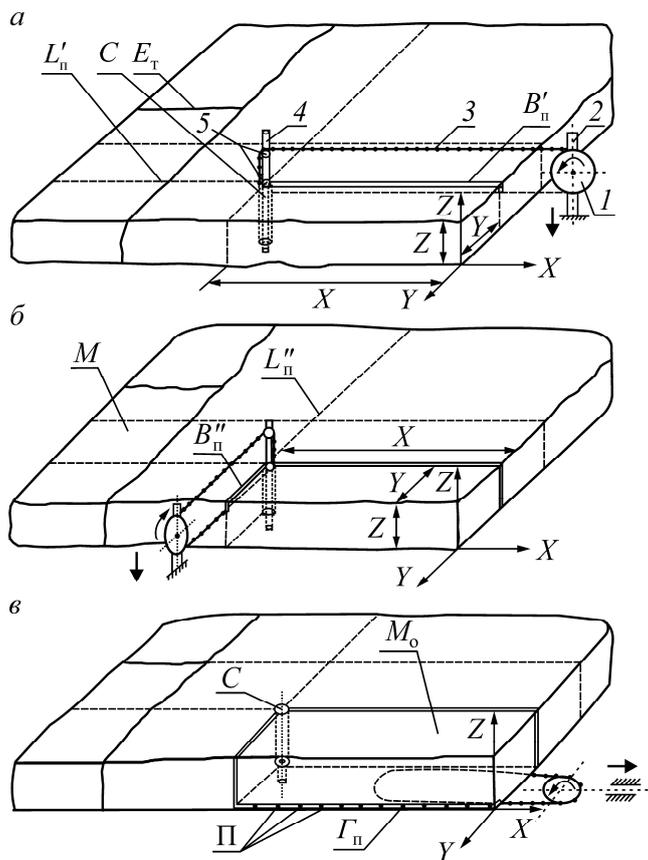


Рис. 1. Технологическая схема отделения монолита от массива камня алмазно-канатной машиной: *a* — резание продольной вертикальной щели; *б* — резание поперечной вертикальной щели; *в* — резание горизонтальной щели

На рис. 1 представлена технологическая схема отделения монолита от массива камня алмазно-канатной машиной, а на рис. 2 — схема разделки монолита на строительные изделия-заготовки.

Алмазно-канатная машина состоит из ведущего шкива 1, установленного на предуступной стойке 2 (рис. 1*a*), режущего алмазного каната 3, центральной стойки 4 с ведомыми направляющими шкивами 5. Предуступная стойка 2 конструктивно выполнена с возможностью переустановки ведущего шкива 1 по горизонтальной плоскости, а центральная стойка 4 — по конструктивной схеме “проникающего шкива” с возможностью поворота.

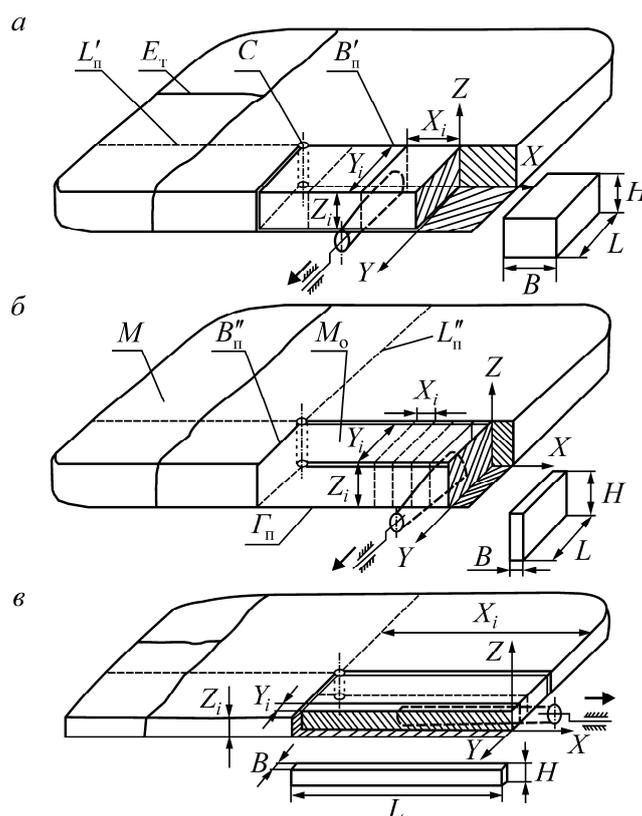


Рис. 2. Схема разделки монолита на строительные изделия-заготовки: *а* — на стеновые блоки; *б* — на доски; *в* — на бордюры и бортовые камни

Для отделения монолита от массива природного камня по предлагаемой технологии выполняют следующие операции. На поверхности массива камня  $M$  размечают продольные линии  $L'_{II}$  по контуру отделяемого монолита (рис. 1б), расстояние между ними равно ширине монолита  $Y$ . На пересечении плоскостей отделения монолита, в контурной линии  $L'_{II}$  на расстоянии  $X$  от оси  $Y$ , равном длине монолита, бурят центральную скважину  $C$  (диаметром 0.18–0.22 м в зависимости от конструкции АКМ) для установки центральной стойки 4 АКМ. Стойки 1 и 4 закрепляются, АКМ с их помощью настраивается для резания вертикально-продольной щели  $B'_{II}$ . Включается привод ведущего шкива 1 (рис. 1а), режущий алмазный канат 3 начинает вращение по замкнутому контуру. При этом канат 3, огибаясь вокруг ведомых шкивов (роликов) 5, вступает в контакт с поверхностью массива  $M$  и постепенно начинает резать камень, разрушая его с помощью алмазных режущих втулок, установленных на канате 3. Углубление режущего каната и резание в массиве вертикально-продольной щели  $B'_{II}$  обеспечивается за счет подачи вращающегося замкнутого каната синхронным опусканием проникающих шкивов 5 центральной стойки 4 и ведущего шкива 1 предуступной стойки 2. После нарезания щели на всю глубину АКМ подводится в исходное положение, т. е. режущий канат поднимается на поверхность массива и выводится из щели, привод отключается.

Затем АКМ настраивается на резание вертикально-поперечной  $B''_{II}$  щели (рис. 1б). При этом предуступная стойка 2 с ведущим шкивом 1 перемещается на новую позицию перед фронтом массива и закрепляется на уступе, а верхняя часть центральной стойки 4 с направляющими шкивами 5 совершает поворот на  $90^\circ$  так, чтобы режущий канат точно совпадал с вертикально-поперечной плоскостью отделения. Включается привод АКМ и нарезается поперечная щель на высоту  $Z$  отделяемого монолита.

На следующем этапе стойки 1 и 4 демонтируются с мест закрепления, режущий алмазный канат 3 вставляется в полученные вертикально-продольную  $B'_n$  и вертикально-поперечную  $B''_n$  щели и опускается на дно щели. Теперь стойка 2 закрепляется в горизонтальном положении перпендикулярно оси  $Y$  (рис. 1в) так, чтобы ведущий шкив 1 и режущий канат 3 лежали в плоскости нижнего основания (подошвы) отделяемого монолита на глубине  $Z$ , равной высоте монолита. Режущий канат 3 работает в этом случае по схеме “петлевого охвата”, и АКМ постепенно режет горизонтальную щель  $\Gamma_n$ , отделяя монолит от массива. В процессе резания в образуемую щель  $\Gamma_n$  вставляют плоские деревянные или металлические подставки П, тем самым исключая возможный зажим каната в щели в результате перевеса. В последующем подставки могут служить при выемке выпиленного монолита из массива (в качестве направляющих при отодвигании, для пропускания троса и т. д.).

Следует отметить, что в зависимости от конструктивной особенности АКМ, а именно от величины возвышения плоскости ведущего шкива 1 над уступом, где закрепляется стойка 2 при ее горизонтальном положении, высота монолита может быть немного меньше, чем координата  $Z$  (на рис. 1в она не показана). Однако это не является препятствием выпиливанию монолитов  $M_o$ , а горизонтальные пропилы  $\Gamma_n$  будут везде на одном уровне.

Способ позволяет использовать естественные трещины  $E_t$  и слои отдельности массива природного камня. В таких случаях следует совместить контурные линии  $L'_n$  и  $L''_n$  отделения монолита параллельно или перпендикулярно к естественным трещинам или слоям напластования массива (рис. 1а).

Процесс отделения строительных изделий-заготовок от массива можно осуществить аналогичным образом. Экономически более выгодно получение заготовок изделий путем выпиливания из уже отделенного монолита на месте. Наиболее характерные варианты: разделка на блоки (рис. 2а), распиловка монолита на плиты-заготовки (рис. 2б) и на брусы-заготовки (рис. 2в). Блоки камня имеют стандартные (ГОСТ 9479-98) размеры, а плитчатые и брусчатые (столбчатые) заготовки можно выпиливать, выдерживая соотношение размеров по длине  $L$ , ширине  $B$  и высоте  $H$ . Размеры и виды заготовок или блоков камня зависят от размеров конечных изделий, они могут быть заложены уже на первой стадии при отделении монолита от массива природного камня.

Во всех трех случаях технологический процесс осуществляется только при помощи предступной стойки 2 с ведущим шкивом 1. Монолит распиливается АКМ по схеме резания щели “петлевой охват”, выдерживая соответствующие размеры  $X_i$ ,  $Y_i$  и  $Z_i$ , стойка 2 закрепляется перед монолитом так, чтобы ведущий шкив 1 лежал в плоскости отделения заготовки или блока.

Для реализации данной технологии в условиях ОсОО “Таш-Махал” (Араванский район Ошской области КР) изготовлен опытный образец алмазно-канатной машины типа КМК-1.

Предлагаемая технология отделения от массива камня строительных изделий-заготовок с помощью алмазно-канатной машины имеет следующие преимущества [9]. Исключается трудоемкий процесс бурения горизонтальных шпуров и скважин. Монолит отделяется от массива бурением только одной центральной скважины, что снижает трудоемкость процесса и потери сырья. Разделкой монолита можно получить уже готовые строительные изделия (сляба, модульных плит, цокольных и накрывочных плит, ступеней, бортовых блоков набережных, колонн, бортовых камней автодорог, стел и других элементов памятников, монументов и пр.). В конечном счете обеспечивается снижение себестоимости и общих потерь сырья, увеличивается производительность технологического процесса добычи блоков и получения строительных изделий из природного камня.

Для определения путей совершенствования данной технологии и конструкций алмазно-канатных машин с точки зрения минимизации потерь сырья разработана расчетная схема (рис. 3), исходя из которой проведены аналитические исследования. Выполнив математические преобразования и введя обозначения:  $V_6 = XYZ$ ,  $V_T = B_{\text{щ}}(XY + XZ + YZ)$  и  $V_c = (\pi(d_c^2 Z + d_{\text{ш}}^2 h_{\text{ш}}))/4n$ , получены зависимости потерь сырья от параметров технологического процесса:

$$K = \frac{Y^2 \operatorname{tg} \alpha (Z + X) + Z^2 \operatorname{tg} \beta (Y + X) + X^2 (Y \operatorname{tg} \beta + Z \operatorname{tg} \alpha) + V_T + V_c}{V_6 + Y^2 \operatorname{tg} \alpha (Z + X) + Z^2 \operatorname{tg} \beta (Y + X) + X^2 (Y \operatorname{tg} \beta + Z \operatorname{tg} \alpha) + V_T + V_c} 100 \%,$$

где  $V_6$ ,  $V_T$ ,  $V_c$  — объем вырезаемого изделия, технологических щелей и скважины соответственно,  $\text{м}^3$ ;  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  — длина, ширина и высота вырезаемого изделия,  $\text{мм}$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  — отклонение и наклон прорезаемых технологических щелей, град;  $d_c$ ,  $d_{\text{ш}}$ ,  $h_{\text{ш}}$  — диаметр скважины, диаметр и глубина шпура соответственно,  $\text{м}$ ;  $B_{\text{щ}}$  — ширина технологической щели,  $\text{м}$ ;  $n$  — количество вырезаемых строительных изделий.

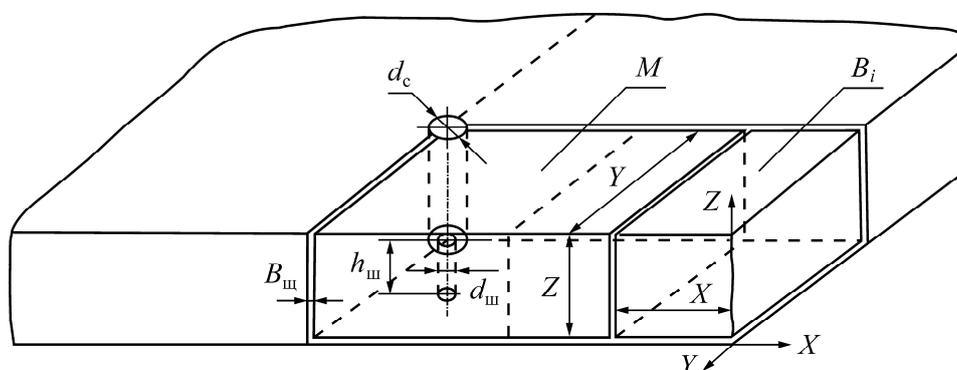


Рис. 3. Схема к определению потерь сырья при отделении от массива камня блоков

На рис. 4 представлены диаграммы, характеризующие зависимости потерь сырья от различных параметров. Они рассчитаны при средних значениях следующих параметров:  $X = 1.0 \text{ м}$ ;  $Y = 1.5 \text{ м}$ ;  $Z = 0.8 \text{ м}$ ;  $B_{\text{щ}} = 0.01 \text{ м}$ ;  $d_{\text{ш}} = 0.05 \text{ м}$ ;  $h_{\text{ш}} = 0.3 \text{ м}$ ;  $d_c = 0.2 \text{ м}$ ;  $\alpha = \beta = 0$ ;  $n = 4$  [5, 6].

На рис. 4а приведены зависимости величины потерь сырья  $K$  от ширины  $X$ , длины  $Y$ , высоты  $Z$  и числа вырезаемых блоков  $n$  из одного монолита. Видно, что влияние ширины, длины и высоты на величину потерь сырья  $K$  значительное. При  $X = 1 \text{ м}$  величина  $K = 3.33 \%$ , а при  $X = 1.6 \text{ м}$  —  $K = 2.63 \%$ , т. е. наблюдается снижение  $K$  на 21 %. Когда длина вырезаемого блока  $Y = 1.4 \text{ м}$ ,  $K = 3.41 \%$ , а при  $Y = 2 \text{ м}$  —  $K = 3.05 \%$ , т. е. происходит снижение  $K$  на 10.55 %. При высоте блока  $Z = 0.8 \text{ м}$   $K = 3.33 \%$ , а при  $Z = 1.4 \text{ м}$  —  $K = 2.88 \%$ , т. е.  $K$  снижается на 13.51 %.

Влияние числа вырезаемых блоков  $n$  из одного монолита на величину потерь сырья  $K$  незначительное. При увеличении числа вырезаемых блоков  $n$  от 3 до 7 происходит снижение потерь сырья в среднем на 10 %.

Как показали результаты анализа, для снижения потерь сырья следует вырезать крупные блоки, но при этом пропорционально увеличивается их масса. В связи с этим необходимо выбирать рациональные размеры блока с учетом физико-механических свойств природного камня, обеспечения повышенной производительности и минимальной энергоемкости, а также других показателей и параметров рассматриваемого процесса.

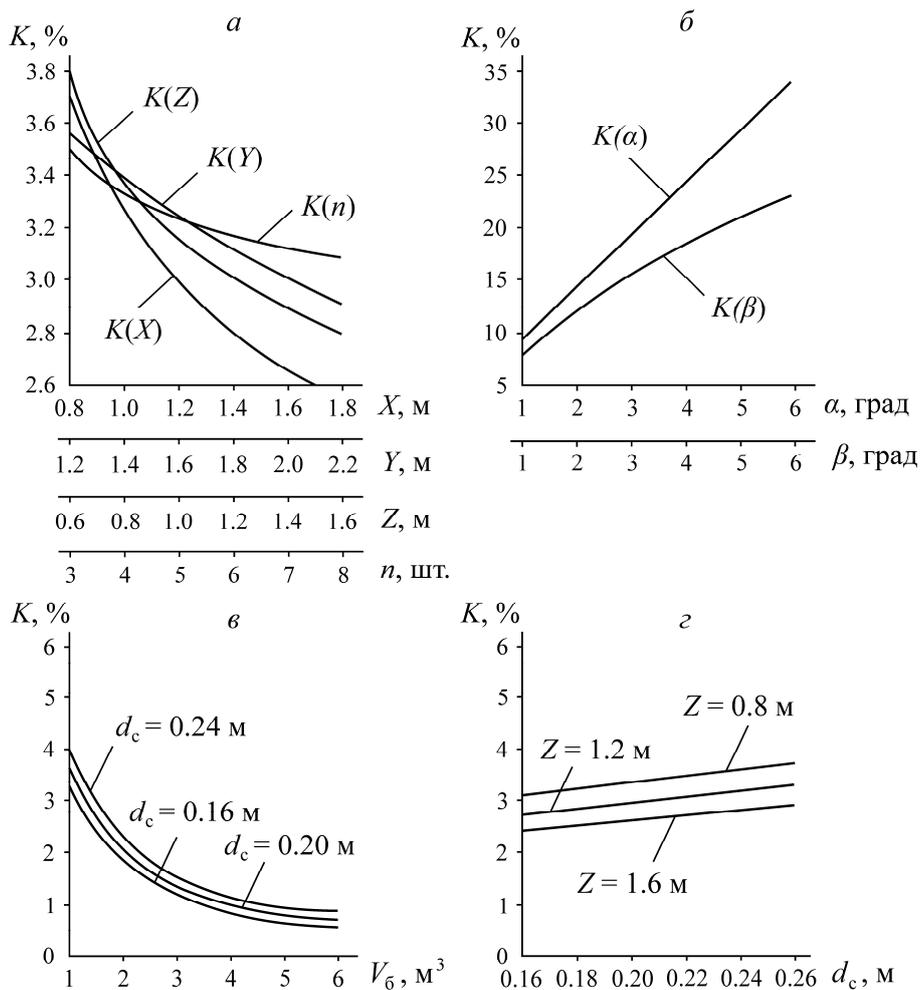


Рис. 4. Зависимости потерь сырья при вырезании блоков из массива камня

Значительное влияние на потери сырья  $K$  при вырезании блоков и других строительных изделий-заготовок из массива природного камня оказывают отклонение  $\alpha$  и наклон  $\beta$  прорезаемой щели (рис. 4б) от предполагаемых плоскостей обнажения. Согласно установленной зависимости  $K(\alpha)$ , отклонение режущего каната от намеченной плоскости обнажения от 1 до 3° приводит к росту потерь сырья на 100%.

Очевидна целесообразность использования специальных приспособлений для разметки вырезаемых технологических щелей в массиве камня и оснащения АКМ жесткими направляющими рабочего органа, автоматических следящих систем, контролирующих и обеспечивающих точность прорезаемых щелей.

Аналогичное влияние на величину потерь сырья  $K$  оказывает возможный наклон  $\beta$  прорезаемых щелей, т. е. отклонение их от ориентировочной плоскости обнажения. Так, увеличение наклона прорезаемой щели  $\beta$  на 2° повышает потери сырья  $K$  на 98% (рис. 4б), поэтому важно обеспечить на практике камнедобычи и камнераспиловки высокую точность и четкую направленность прорезаемых щелей. Для этого следует установить на разрабатываемой камнерезной машине специальные механизмы адаптации исполнительного органа для удержания его в заданном положении, которые обеспечат необходимую точность прорезаемой щели при передвижении машины по карьерному полю.

Существенное влияние на величину потерь сырья  $K$  оказывают объем вырезаемого блока  $V_6$  и диаметр пробуренной скважины  $d_c$ . Из представленной зависимости (рис. 4в) видно, что влияние  $V_6 < 5 \text{ м}^3$  на величину потерь сырья  $K$  весьма существенное, менее значительное — при  $V_6 > 5 \text{ м}^3$ . При этом пропорциональное увеличение диаметра скважины  $d_c$  сопровождается также увеличением  $K$ . Например, при  $V_6 = 4.2 \text{ м}^3$  и  $d_c = 0.16 \text{ м}$  величина  $K = 0.9\%$ , при том же значении  $V_6$  и  $d_c = 0.2 \text{ м}$  —  $K = 0.98\%$ , а при  $d_c = 0.24 \text{ м}$  —  $K = 1\%$ , т. е. при увеличении  $d_c$  на  $0.04 \text{ м}$  потери сырья  $K$  увеличиваются на  $10\%$ . Из проведенного анализа следует, что объемы вырезаемых блоков  $V_6$  в пределах от  $4$  до  $6 \text{ м}^3$  являются наиболее рациональными и приводят к значительному снижению потерь сырья. Также можно заключить, что уменьшение диаметра  $d_c$  на  $0.02 \text{ м}$  обеспечивает снижение  $K$  в среднем на  $5\%$ .

Влияние диаметра  $d_c$  и глубины скважины (высоты вырезаемого блока)  $Z$  на величину потерь сырья  $K$  представлены на рис. 4з. Видно, что увеличение  $d_c$  сопровождается увеличением  $K$ , а при увеличении высоты вырезаемых блоков  $Z$  наблюдается снижение потерь сырья  $K$ . Например, при  $d_c = 0.2 \text{ м}$  и  $Z = 0.8 \text{ м}$  величина  $K = 3.33\%$ , а при том же значении  $d_c$  и  $Z = 1.2 \text{ м}$  —  $K = 2.94\%$ , при  $Z = 1.6 \text{ м}$  —  $K = 2.7\%$ . Как показывает проведенный анализ зависимостей  $K(d_c, Z)$ , при увеличении диаметра скважины  $d_c$  на  $0.02 \text{ м}$  происходит повышение потерь сырья в среднем на  $2.5\%$ , а увеличение параметра  $Z$  на  $0.4 \text{ м}$  сопровождается снижением  $K$  на  $10\%$ .

Из анализа взаимосвязей  $K(d_c, Z)$  следует, что необходимо стремиться к увеличению глубины скважины  $Z$  и минимизации ее диаметра  $d_c$ . Это значит, что рациональные значения диаметра коронок и длины штанги используемого бурового станка для пробуривания скважин должны иметь рациональные величины  $0.21 - 0.22$  и  $1.5 - 1.6 \text{ м}$  соответственно. Однако необходимо выбирать эти параметры с учетом обеспечения других показателей, например повышения производительности и минимальной энергоемкости данного технологического процесса.

## ВЫВОДЫ

Традиционные технологии применения алмазно-канатных машин для отделения монолитов и крупных блоков от массива камня являются трудоемкими. При бурении горизонтальных шпуров происходят заклинивания буровой коронки и вибрации станка, отклонение буровой штанги от намеченной оси и непересечение вертикальных и горизонтальных шпуров в одной точке, что приводит к снижению эффективности технологии и производительности процесса, увеличению потерь сырья.

Для устранения этих недостатков предложена перспективная технология отделения от массива камня монолитов и строительных изделий-заготовок с помощью алмазно-канатной машины, обеспечивающей снижение трудоемкости, себестоимости и потерь сырья, повышение производительности технологического процесса.

На основе разработанной схемы получены зависимости величины потерь сырья от различных параметров данной технологии. Анализ полученных зависимостей позволил сформулировать требования к данному технологическому процессу и определить основные пути совершенствования конструкций алмазно-канатных машин с целью минимизации потерь сырья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мамасаидов М. Т., Мендекеев Р. А., Исманов М. М.** Добыча и распиловка блоков природного камня: анализ и проблемы развития // Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения: материалы Междунар. науч. конф. Ч. 2. Транспорт, энергетика, техника. — Бишкек: КТУ, 2001. — С. 320–325.
2. **Мамасаидов М. Т., Мендекеев Р. А., Исманов М. М.** Обобщенная модель технологии производства изделий из массива камня // ФТПРПИ. — 2004. — № 5. — С. 110–116.
3. **Мендекеев Р. А.** Анализ потерь сырья при распиловке блоков камня на облицовочные изделия // ФТПРПИ. — 2004. — № 5. — С. 104–109.
4. **Мутлутюрк М.** Метод расчета товарных блоков при добыче штучного камня // ФТПРПИ. — 2007. — № 1. — С. 75–81.
5. **Исманов М. М.** Анализ технологий отделения блоков природного камня от массива путем резания // Наука. Образование. Техника. — 2012. — № 3, 4. — С. 58–65.
6. **Першин Г. Д.** Эффективность разделки монолитов природного камня канатно-алмазными пилами // Строит. материалы. — 1994. — № 10. — С. 14–17.
7. **Кокунина Л. В.** Исследование алмазно-канатного резания блочного камня на карьерах // Горн. журн. — 2008. — № 1. — С. 67–69.
8. **Першин Г. Д., Уляков М. С.** Анализ влияния режимов работы канатных пил на себестоимость отделения монолитов камня от породного массива // ФТПРПИ. — 2014. — № 2. — С. 59–68.
9. **Пат. 1727** (Кыргызпатент). Способ отделения монолитов и крупных заготовок строительных изделий из массива природного камня / М. Т. Мамасаидов, М. М. Исманов // Оpubл. в БИ. — 2015. — № 4.

*Поступила в редакцию 25/V 2016*