

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРИ ДОБЫЧЕ БЛОКОВ ПРИРОДНОГО ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ

Существует множество способов добычи блоков природного камня с использованием разнообразных технических средств [1]. Каждый из этих способов и применяемых технических средств обладают преимуществом и недостатком. К достоинствам обычно относят присущие данной технике высокую производительность, долговечность, надежность, экономичность и простоту в обслуживании. Судя по этим признакам, качественно и количественно оценивают достоинство применяемой техники. Однако эти признаки являются недостаточными при комплексной оценке достоинства применяемого способа и техники при добыче блоков природного камня. Для комплексной оценки данного способа этих средств необходимо, на наш взгляд, учитывать и потери сырья при получении блоков из массива природных камней с их помощью. Поскольку запасы природных камней имеют ограничение, то рациональное использование их запасов является одной из актуальных проблем и требует решения современными научно-техническими методами.

При этом наряду с минимизацией потерь сырья в процессе добычи важную роль играет их рациональная переработка, так как в силу технологических причин образование отходов неизбежно.

Величина отходов при добыче блоков природного камня зависит от множества факторов и ее можно выразить следующим образом:

$$W = f(Z_x, Z_y, B, K_{щ}, H, K_v, \varepsilon) \quad (1)$$

где  $W$  - суммарная величина отходов;

$Z_x, Z_y$  - количество добываемых блоков;

$B$  - ширина или диаметр применяемого инструмента для отделения блока от массива;

$K_{щ}$  - коэффициент ширины щелей для обнажения блоков;

$H$  - глубина щелей или шпуров для обнажения блоков;

$K_v$  - отходы при отделении блоков от массива из-за образования негабаритов;

$\varepsilon$  - отходы, связанные с наличием естественных трещин в массиве.

Отсюда следует, что величина отходов при добыче блоков природного камня является многофакторной величиной, которая требует разработки методики ее оценки и всестороннего анализа.

**Предпосылки к оценке величины отходов.** Добыча природного облицовочного камня существенно отличается от добычи рудных полезных ископаемых, что обусловлено тем, что здесь конечной продукцией является "блок"- прямоугольный параллелепипед камня, который отделяется от массива при полном сохранении его природных качеств.

К добываемому блоку природного камня предъявляется ряд специфических требований: он должен быть определенного размера и объема, иметь ограниченное число трещин и сколов на углах и ребрах.

Принципиальная схема добычи блоков природного облицовочного камня представлена на рис. 1. Из нее следует, что добыча блоков сводится к обнажению их поверхностей от массива. Обычно обнажению подвергаются три грани по трем взаимно перпендикулярным плоскостям.

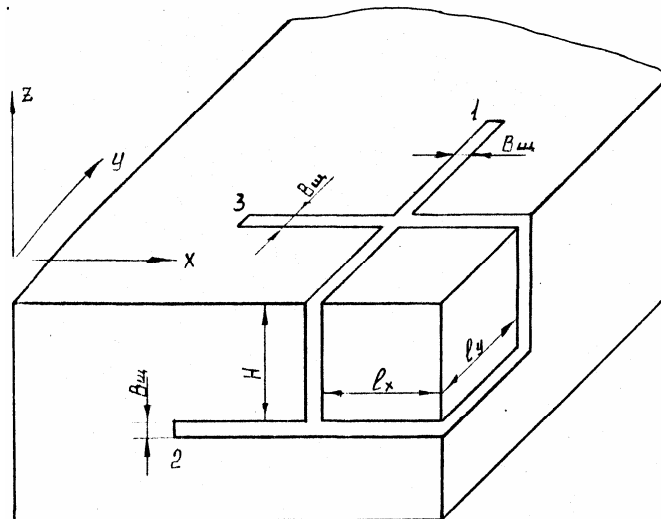


Рис.1. Принципиальная схема добычи блоков природного облицовочного камня

*1-я операция.* Обнажение грани блоков по плоскости ZOY производится последовательным движением исполнительного органа по оси Y. Такие обнажения повторяются через каждые  $l_x$  массива. В результате этих обнажений происходит измельчение (потеря) сырья, зависящее от ширины  $B_{щ}$ , глубины  $H$  и длины обнажения.

*2-я операция.* Обнажение грани блоков по плоскости XOY производится последовательным движением исполнительного органа технических средств против оси X. Данные обнажения повторяются через каждый  $l_y$  массива, чтобы обеспечить одинаковые размеры блока. При этом происходит измельчение (потеря) сырья, объем которого зависит от ширины  $B_{щ}$ , глубины  $l_y$  и длины обнажения.

*3-я операция.* Обнажение грани блоков по плоскости ZOX проводится последовательным движением исполнительного органа технических средств против оси X. Эти обнажения повторяются через каждый  $H$  массива.

По такой обобщенной технологии обеспечивается добыча блоков природного камня с использованием всевозможных существующих технических средств.

Например, с использованием камнерезных машин обнажение этих граней блоков осуществляется резанием соответствующих щелей, а при буровзрывном способе добычи блоков такие обнажения осуществляются последовательным бурением шпуров по этим трем граням и отделением блока с помощью взрывных работ. Поэтому за основу расчетной схемы для оценки величины отходов при добыче природного камня принимаем эту обобщенную технологическую схему.

**Расчетная схема к математическому моделированию процесса образования отходов.** Для математического описания отходообразования принята расчетная схема процесса добычи блоков природного камня (рис. 1.), которая базируется на следующих допущениях:

1. Считаем, что массив природного камня не имеет трещин, т.е. является монолитным.

2. Принимаем, что геометрические параметры добываемых блоков идентичны.

3. Ширина исполнительного органа технических средств по мере добычи блоков остается постоянной.

4. Исполнительный орган обеспечивает разработку массива в перпендикулярном положении к поверхности обработки.

Согласно принятой расчетной схеме, коэффициент выхода блоков из массива может

быть определен как:

$$\eta = \frac{W_n}{W_n + W_{\bar{o}}} \quad (2)$$

где  $\eta$  - коэффициент выхода блока;

$\eta = 1 - \eta^*$  ( $\eta^*$  - коэффициент потери сырья);

$W_n$  - суммарный объем кондиционных блоков;

$W_{\bar{o}}$  - объем измельченного (потери) сырья при обнажении вертикальных граней блока;

$W_n$  - объем помельченного (потери) сырья при обнажении горизонтальных граней блока.

Удельные потери сырья, то есть отходы, приходящиеся на единицу объема добываемого блока, определяются следующей зависимостью:

$$\omega = \frac{W_{\bar{o}} + W_n}{W_n} \quad (3)$$

Суммарный объем добываемых блоков определяется уравнением:

$$Z = l_x Z_x \cdot l_y Z_y \cdot H \quad (4)$$

где  $Z$  - общее количество добываемых блоков;

$Z_x$  - количество блоков по оси X;

$Z_y$  - количество блоков по оси Y;

$L_x$  - габаритные размеры блоков по оси X;

$L_y$  - габаритные размеры блоков по оси Y;

$H$  - габаритные размеры блоков по оси Z (глубина щелей или шпура).

Потери сырья при обнажении вертикальных граней блоков определяются по формуле:

$$W_{\bar{o}} = S \cdot H, \quad (5)$$

где  $S$  - общая площадь вертикальных обнажений (площадь проекции этих обнажений на горизонтальную плоскость).

Потери сырья при обнажении горизонтальных граней определяется следующим образом:

$$W_n = S_n \cdot B_{щ}, \quad (6)$$

где  $S_n$  - общая площадь, занимаемая кондиционными блоками;

$B_{щ}$  - ширина горизонтального (подошвенного) обнажения блоков;

$$B_{щ} = B \cdot K_{щ},$$

где  $B$  - ширина исполнительного органа применяемого технического средств;

$K_{щ}$  - коэффициент, характеризующий отношение ширин обнажений к ширине исполнительного органа.

Коэффициент ширины обнажений учитывает колебания и неточность установки инструмента на исполнительном органе, неуравновешенность технических средств.

В буровзрывном способе добычи блоков этот коэффициент учитывает также глубины образованных микротрещин под воздействием взрыва, нестройность бурения шпуров.

Площадь, занимаемая горизонтальной проекцией вертикальных обнажений ( $S$ ), определяется следующим образом:

$$S = S_x + S_y + S_n, \quad (7)$$

где  $S_x$  - суммарная площадь горизонтальной проекции вертикальных обнажений по оси X;

$S_y$  - суммарная площадь горизонтальных проекций вертикальных обнажений по оси Y;

$S_{\Pi}$  – суммарная площадь накладки вертикальных обнажений по осям X и Y.

Общую площадь, занимаемую блоками, можно вычислить как:

$$S_{\Pi} = L_{\Sigma X} \cdot L_{\Sigma Y}, \quad (8)$$

где  $L_{\Sigma X}$  - суммарная длина блоков и ширины обнажений по оси X (длина разрабатываемого участка массива по оси X);

$L_{\Sigma Y}$  - суммарная длина блоков и ширины обнажений по оси Y (длина разрабатываемого массива по оси Y).

Для того чтобы определить эти площади, можно воспользоваться схемами, приведенными на рис. 2, а, б, в, которые вытекают из принятой расчетной схемы при добыче блоков природного камня.

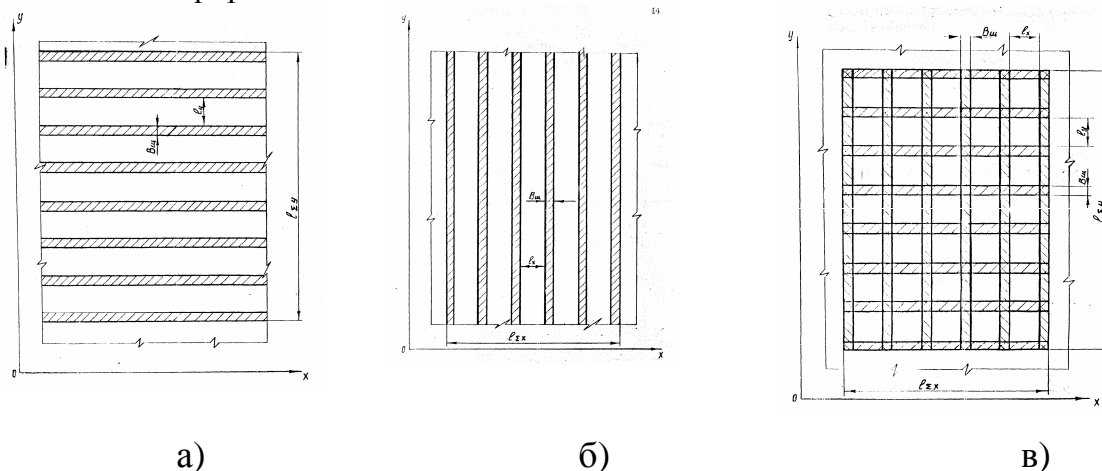


Рис.2. К определению параметров обнажения блоков: а) по оси X, б) по оси Y, в) к оценке величины потерь

Из рис. 2. а, б с учетом количества блоков следует, что

$$L_{\Sigma X} = Z_x \cdot L_x + (Z_x + 1) B_{ц}, \quad (9,10)$$

$$L_{\Sigma Y} = Z_y \cdot L_y + (Z_y + 1) B_{ц}$$

где  $\Sigma l_x$  и  $\Sigma l_y$  - суммарная длина блоков по осям (X, Y);

$\Sigma B_{ц}$  - суммарная длина обнажений по осям (X, Y).

$Z_x$  и  $Z_y$  – количество блоков по осям X и Y.

Для упрощения преобразований введем безразмерные коэффициенты, характеризующие отношение соответствующих размеров блоков к ширине обнажений:

$$x = l_x / B_{ц} \quad (11)$$

$$y = l_y / B_{ц} \quad (12)$$

Введя выражения (11) и (12) в (9) и (10) имеем:

$$L_{\Sigma X} = [Z_x (K_x + 1) + 1] B_{ц}, \quad (13,14)$$

$$L_{\Sigma Y} = [Z_y (K_y + 1) + 1] B_{ц}$$

Определяем площади горизонтальных проекций вертикальных обнажений по координатным осям (OX) и (OY) следующим образом:

$$Z_x = \Sigma B_{ц} \cdot L_{\Sigma X} \quad (15,16)$$

$$Z_y = \Sigma B_{ц} \cdot L_{\Sigma Y}.$$

Подставляя значения (13), (14) в (15) и (16), получим:

$$S_x = [Z_y + 1] [Z_x (K_x + 1) + 1] B_{ц}^2, \quad (17,18)$$

$$S_y = [Z_x + 1] [Z_y (K_y + 1) + 1] B_{ц}^2,$$

Суммарную площадь накладки вертикальных обнажений по осям X и Y (рис. 2 в)

находим по зависимости:

$$S_{II} = (Z_x + 1)B_{III} \cdot (Z_y + 1)B_{III} \quad (19)$$

$$\text{или } S_{II} = (Z_y Z_x + Z_x Z_y) B_{III}^2 \quad (20)$$

$$S_{II} = (Z_y Z_x + Z_x Z_y) B_{III}^2 \quad (21)$$

Подставляя значения (19), (20) и (21) в (8) имеем:

$$S = (Z_y + 1)[Z_x(K_x + 1) + 1]B_{III}^2 + (Z_x + 1)[Z_y(K_y + 1)]B_{III}^2 - (Z_y Z_x + Z_x + Z_y + 1)B_{III}^2, \quad (22)$$

а после несложных преобразований получим:

$$S = [Z_y Z_x(K_x + K_y + 1) + Z_x(K_x + 1) + Z_y(K_y + 1) + 1]B_{III}^2. \quad (23)$$

Подставляя (23) в (6) имеем:

$$W_6 = [Z_y Z_x(K_x + K_y + 1) + Z_x(K_x + 1) + Z_y(K_y + 1) + 1]B_{III}^2 H. \quad (24)$$

Учитывая (7), (11) и (12), окончательно получим зависимость потери сырья при обнажении вертикальных граней блока в виде:

$$W_6 = [Z_y Z_x(L_x + L_y + B \cdot K_{III}) + Z_x(L_x + B \cdot K_{III}) + Z_y(L_y + B \cdot K_{III})]H \cdot B \cdot K_{III}. \quad (25)$$

Определив значение  $S_H$  из (8), с учетом (13) и (14), получим:

$$S_H = [Z_x(K_x + 1) + 1]B_{III} \cdot [Z_y(K_y + 1) + 1]B_{III}. \quad (26)$$

$$\text{или } S_H = [Z_y Z_x(K_x K_y + K_x + K_y + 1) + Z_x(K_x + 1) + Z_y(K_y + 1) + 1]B_{III}^2, \quad (27)$$

Получим потери сырья при обнажении горизонтальных граней блока из (6) в виде:

$$W_H = [Z_y Z_x \cdot \frac{(L_x L_y + L_x B K_{III} + L_y B K_{III} + B^2 K_{III}^2)}{B K_{III}} + Z_x(L_x + B K_{III}) + Z_y(L_y + B K_{III}) + B K_{III}]B^2 K_{III}^2. \quad (28)$$

Располагая данными о  $W_n$ ,  $W_6$  и  $W_H$ , из (1) получим зависимость коэффициента выхода блока в общем виде:

$$\eta = \frac{Z_x \cdot Z_y \cdot L_x \cdot L_y \cdot H}{Z_x \cdot Z_y \cdot L_x \cdot L_y \cdot H + \{[Z_y(L_y + B K_{III}) + Z_x(L_x + B K_{III}) + Z_y Z_x(L_y + L_x + 1) + B K_{III}](H + B K_{III}) + Z_x \cdot Z_y \cdot L_x \cdot L_y\} B K_{III}}, \quad (29)$$

Для случая, когда добываемые блоки имеют форму куба (т.е.  $l_x = H = l_y = H = L$ ) и разрабатываемый участок имеет равные стороны ( $Z_x = Z_y = Z_1$ ), зависимость (29) упростится и имеет вид

$$\eta = 1 + \frac{Z_x \cdot Z_y \cdot L_x \cdot L_y \cdot H}{\{[Z_y(L_y + B K_{III}) + Z_x(L_x + B K_{III}) + Z_y Z_x(L_y + L_x + 1) + B K_{III}](H + B K_{III}) + Z_x \cdot Z_y \cdot L_x \cdot L_y\} B K_{III}}. \quad (30)$$

Определяем удельные потери сырья, т.е. отходов, приходящихся на единицу объема добываемого блока в общем виде:

$$\omega = \frac{\{[Z_y(L_y + B K_{III}) + Z_x(L_x + B K_{III}) + Z_y Z_x(L_y + L_x + 1) + B K_{III}](H + B K_{III}) + Z_y Z_x L_x L_y\} B K_{III}}{Z_y \cdot Z_x \cdot L_x \cdot L_y \cdot H}. \quad (31)$$

В ряде случаев, когда в массиве встречаются горизонтальные трещины или прослойки (в частности на месторождении Сары Таш), отсутствуют необходимости обнажения горизонтальной грани блока. В этом случае коэффициент выхода блоков из массива равен

$$\eta = \frac{W_n}{W_n + W_6}, \quad (32)$$

или, подставляя значения  $W_n, W_6$  и производя преобразования, получим:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{[(BK_{щ} + 2L)(Z_1 + 1)^2 - 2L(Z_1 + 1)]BK_{щ}}{Z_1^2 \cdot \ell^2}} \quad (33)$$

Если  $Z_x = Z_y = Z_1$  и  $l_x = l_y = H = L$ , то выражение (33) упрощается.

Аналогично находим удельные потери сырья в отсутствие необходимости обнажения горизонтальной грани добываемых блоков:

$$\omega = \frac{[Z_x Z_y (\ell_x + \ell_y + BK_{щ}) + Z_x (L_x + BK_{щ}) + Z_y (L_y + BK_{щ}) + BK_{щ}]BK_{щ}}{Z_x \cdot Z_y \cdot L_x \cdot L_y}; \quad (34)$$

При  $l_x = l_y = H = L$  и  $Z_x = Z_y = Z_1$ , получим:

$$\eta = \frac{[(2L + BK_{щ})(Z_1 + 1)^2 - 2L(Z_1 + 1)]BK_{щ}}{Z_1^2 \cdot L^2}. \quad (35)$$

Из полученных общих зависимостей (34), (35) и их частных случаев вытекает, что потери сырья при добыче блоков природного облицовочного камня зависят от ряда факторов: геометрических размеров массива и добываемых блоков ( $Z_1$  и  $L$ ), применяемых технических средств ( $B$ ), способов отделения блоков от массива ( $K_{щ}$ ). Таким образом, в данной работе рассмотрена обобщенная технологическая схема добычи блоков природного камня и разработана ее расчетная схема с определенными допущениями. Получены зависимости коэффициента потери сырья (выход блоков из массива) при добыче блоков природного камня различными способами.

Полученные зависимости позволяют анализировать взаимосвязь потери сырья от различных факторов и могут быть использованы в прогнозе потерь сырья при отделении блоков природного камня из монолитного массива.

#### Литература:

1. Мамасаидов М.Т., Мендекеев Р.А., Калдыбаев Н.А. Проблема переработки отходов природного камня. //Межд. научн. журнал «Наука. Образование. Техника», № 3. –Ош: Кыргызско-Узбекский университет.-с.12-15.  
К анализу потерь сырья при добыче блоков природного облицовочного камня. Алимов. О.Д., Мамасаидов М.Т., Жоробеков М.Ж. Отчет о результатах НИР, 1982 г. –Бишкек, Архив Института машиноведения НАН КР