

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ БЛОЧНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ**

**Соболевский Р.В.**

*Житомирский государственный технологический университет  
г. Житомир, Украина*

*В статье рассмотрены методы создания модели отдельности декоративного камня и получения максимальной прибыли при её разделении на основе использования цифровой фотограмметрии.*

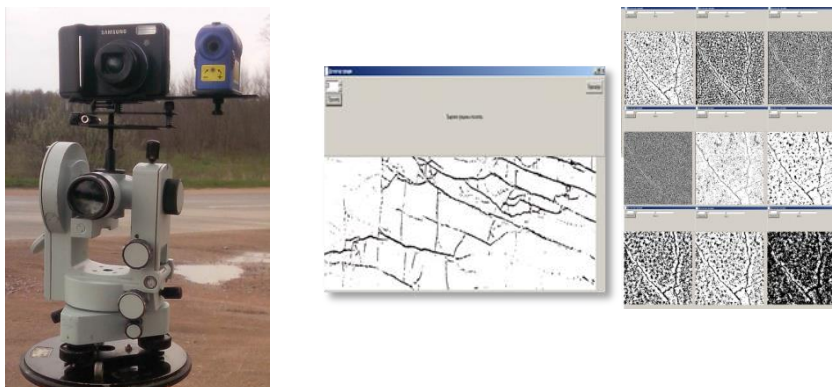
**Актуальность.** Учитывая тенденцию роста объемов добычи блоков декоративного камня отечественными камнедобывающими предприятиями и постоянно растущую стоимость 1 м<sup>3</sup> камня, точное объективное определение коммерческого объема становится актуальным вопросом, решение которого требует в первую очередь исследования точности измерения линейных размеров природных отдельностей различными способами, разработки методики определения их объемов, методики идентификации естественных трещин и последующего определения коэффициента выхода блоков и качества продукции на конкретном производственном участке карьера. Именно поэтому предварительное прогнозирование, контроль и управление качеством блочного сырья на основе дистанционных методов измерения непосредственно на карьере является важной научно-практической задачей.

**Целью исследования** является разработка методов создания модели отдельности декоративного камня и получения максимальной прибыли при её разделении на основе использования цифровой фотограмметрии.

**Задачи исследования:** обоснование теоретических основ применения цифровой фотограмметрического способа для изучения трещиноватости массива горных пород; обоснование параметров наземной цифровой съемки отдельностей декоративного камня; разработка методики оптимизации процесса раскройки природной отдельности.

Практические и теоретические исследования в области обработки изображений сделали возможным применение цифровых методов в горном деле [1-3]. Одним из возможных путей получения информации о состоянии массива, идентификации естественных трещин в массиве природного камня с последующим определением их геометрических параметров и управлением качеством блочной продукции на отдельных участках месторождения является оптический контроль поверхности массива на основе цифровых фотографий. Применение дистанционных фотограмметрических методов изучения показателей трещиноватости на карьерах декора-

тивного камня позволяет идентифицировать природные разрывы в массиве горных пород с последующим вычислением их линейных размеров и прогнозированием выхода блочной продукции на отдельных участках месторождения. С этой целью был разработан программно-аппаратный комплекс для определения параметров трещиноватости, состоящий из фотограмметрической насадки для оптического теодолита (рис. 1 а) и программного обеспечения для распознавания и определения трещин (рис. 1 б) [4-7].



а) б)  
 Рис. 1. Фотограмметрический программно-аппаратный комплекс для определения параметров трещиноватости: а – фотограмметрическая насадка для оптического теодолита; б – программа «Детектор трещин»

Как результат, алгоритм анализа трещин позволяет рассчитывать такие параметры: 1) площадь трещин 2) количество и длину прямолинейных фрагментов, которыми аппроксимируются трещины 3) количество объединенных трещин. Для качественной и количественной характеристики трещиноватости исследуемой поверхности разработанная программа позволяет получить: угловую и сегментную диаграммы распределения прямолинейных фрагментов трещин по направлениям распространения (в системе координат изображения), столбчатую диаграмму распределения прямолинейных фрагментов трещин по их длинам (при этом применяется относительная единица длины - шаг каркасной сетки).

На практике определить элементы внутреннего и внешнего ориентирования на основе одного снимка невозможно, поэтому проводят стереосъемку, т.е. съемку одного объекта с разных положений камеры. Для определения координат точек объекта в зависимости от условий съемки

рассмотрены четыре случая стереофотограмметрических съемки: общий, нормальный, равномерно отклонённый, конвергентный. Доказано, что наиболее оптимальным является конвергентный способ стереосъемки [5], который позволяет максимально использовать полезную площадь кадра, позволяет увеличить базис фотографирования и уменьшить расстояние до объекта за счет значительных углов наклона и конвергенции. Учитывая объемы товарных блоков и небольшую высоту добывающих уступов большинства карьеров, конвергентную съемку следует выполнять с максимальным коэффициентом заполнения снимка объектом, который исследуется.

Вместе с этим следует учитывать технологию отделения монолитов от массива и разделения монолитов на блоки для определения зоны поверхностной микротрещиноватости и качественного объема товарного блока. Например, при съемке на Лизниковском карьере, три грани блока были отделении алмазно-канатным оборудованием, что не вызывает образования зоны повышенной микротрещиноватости и повышает значение качественного объема, и три грани - буро-клиновым способом, что привело к образованию зоны повышенной микротрещиноватости шириной 1,6-2,5 см [6].

Для решения проблемы получения максимальной прибыли при разделении природной отдельности на блоки рассмотрим общий случай. Пусть блоки – это прямоугольные параллелепипеды с заданными значениями высоты, длины и ширины. То есть дано  $n$  типов прямоугольных параллелепипедов с такими параметрами  $(a_i, b_i, c_i)$  – соответственно это высота, длина и ширина  $i$ -го блока. Обозначим соответствующий стандартный блок  $P_i$ , и  $i = \overline{1, n}$ . Соответственно каждый блок имеет себестоимость равную  $g_i$ . Естественную отдельность нужно разделить на произвольные блоки  $P_i$  в зависимости от заказов. Сложной задачей является описание естественной отдельности. Чтобы это сделать, нам нужно сначала выделить системы трещин. В большинстве случаев выделяют пластовые, продольные, поперечные и диагональные системы трещин. Пусть у нас есть  $k$  - систем трещин. Для того чтобы описать естественную отдельность, мы выделяем две пластовые плоскости, принадлежащих системе пластовых плоскостей, а другие  $k-1$  система плоскостей, которые в свою очередь пересекают пластовые плоскости, образуют на них некий  $t$ -угольник. Тогда у нас образуется  $t+2$ - гранник  $A_1A_2...A_tB_1B_2...B_t$ , соответствующий исследуемой природной отдельности (рис. 2).

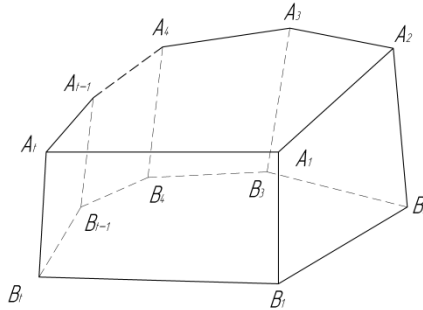


Рис.2. Многогранник естественной отдельности образованный пересечением плоскостей трещин в массиве декоративного камня

Обозначим через  $x_i, i = \overline{1, n}$ , соответствующее количество блоков  $P_i$ , на которые делится наша отдельность. Тогда функция цели в нашем случае будет иметь вид:  $F(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n g_i x_i \rightarrow \max$ . Наложим ограничения на

функцию цели:  $d_j(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n h_{ij} x_i \leq R_j, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ .

В нашем случае  $x_i \in Z^+, g_i \geq 0, h_{ij} \geq 0, R_j \geq 0$ . Это частный случай задачи о ранце, которая является NP-полной, с чего можем сделать вывод, что наша задача может быть решена только комбинаторным методом перебора всех вариантов. Поэтому для решения поставленной задачи необходимо рассматривать каждое месторождение декоративного камня отдельно, исходить из экономических, технологических, анизотропных и ресурсных показателей каждого месторождения, т.е. налагать на эту задачу дополнительные условия и получить результаты решения поставленной задачи. Упростим задачу. Во-первых, перейдем от трехмерного к двумерному случаю. Это возможно, когда предположим, что при делении естественной отдельности на блоки на начальной стадии высота стандартных блоков  $P_i$  и природной отдельности  $A_1 A_2 \dots A_i B_1 B_2 \dots B_i$  совпадают. Если принять, что высота равна 0, то задача сводится к вписыванию в произвольный  $t$ -угольник, который образован на пластовой плоскости системами поперечных, продольных и диагональных трещин, прямоугольников которые соответствуют нашим стандартным блокам. Для дальнейшего упрощения задачи перейдем от двумерного случая к одномерному. То есть предположим, что ширина всех блоков будет равной и задана в определенном направлении. Это возможно в силу наложения на обработку естественной

отдельности технологических, структурно-текстурных, декоративных и анизотропных условий (рис. 3).

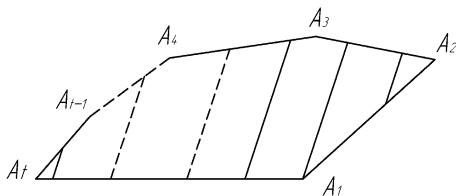


Рис.3. Деление многоугольника естественной отдельности, образованного на пластовой трещине, на заготовки одинаковой ширины

При таких условиях задача примет такой вид. Функция цели:  $F(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n g_i x_i \rightarrow \max$ , с такими условиями ограничения:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i \leq r_m, \text{ где } x_i \in Z^+, g_i \geq 0, 0 \leq a_i, i = \overline{1, n}, 0 \leq r_m,$$

где  $r_m$  – длина заготовок, которые будут делиться на блоки,  $m = \overline{1, l}$ , и  $l$  – количество заготовок. Предложим алгоритм решения данной задачи.

1. Заготовки представим в виде прямоугольников (рис. 3). Так как у нас уже есть две параллельные стороны заготовок, остается построить две другие ортогонально к двум первым параллельным сторонам. Для этого с вершин, которые принадлежат параллельным сторонам, опускаем на противоположенную параллельную сторону высоту и если она пересекает другую сторону, то это и будет новая сторона прямоугольника. Соответственно новая длина заготовки  $r'_m$ , которая  $r'_m \leq r_m$ , и  $m = \overline{1, l}$ .

2. Далее строим последовательность удельной себестоимости в порядке уменьшения (ищем себестоимость единицы объема для определенного стандартного блока). Так как высота и ширина блоков равны, то удельная себестоимость будет определяться длиной блока.

3. На следующем шаге берем заготовку и нацело делим ее длину на длину блока с наибольшей удельной себестоимостью и полученное целое число раз вписываем в заготовку соответствующий блок.

4. Далее ищем длину остатка заготовки и подобно пробуем вписать следующие блоки с нашей последовательности себестоимости, если при делении нет целой части, то блок не вписывается. И эту операцию проделываем до тех пор, пока не будет закончен перебор всех удельных себестоимостей. Полученный остаток заготовки в конце не используется. Так последовательно поступаем со всеми заготовками.

5. В конце, после перебора всех заготовок, получаем количество  $x_i$  определенных блоков  $P_i$  вписанных в нашу естественную отдельность.

Подставив значения  $x_i$  в функцию цели  $F(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n g_i x_i$ , получим прибыль, полученную при данном раскрое (за предложенным алгоритмом) естественной отдельности.

Предложенный алгоритм оптимизационного моделирования раскроя форм естественных отдельностей дает возможность определить характерный раскрой на стандартные блоки с учетом технологических, структурно-текстурных, декоративных, анизотропных особенностей и ориентации систем трещин месторождения. Построенный алгоритм оптимизационного моделирования является необходимым для практического применения в планировании и проведении добычных работ, что позволит в свою очередь получить максимальный выход кондиционных блоков декоративного камня. Данный метод можно применять на большинстве месторождений декоративного камня.

#### Литература

1. Долгих Л. В. Практика використання цифрових методів зйомки кар'єрів // Вісник КТУ. – Кривий Ріг: КТУ. – 2007. – Вип.16. – С. 44-48.
2. Долгих Л. В., Долгих О. В., Малецький М. М. Сучасні методи знімальних робіт на кар'єрах // Вісник КТУ. – Кривий Ріг: КТУ. – 2006. – Вип.13. – С. 48-51.
3. Чибуничев А. Г. О возможностях применения цифровых методов фотограмметрии для решения инженерных задач // Известия вузов. Геодезия и аэрофото-съемка. – 1990. – №6. – С.76-82.
4. Левицький В.Г., Соболевський Р.В. Дослідження точності вимірювання лінійних розмірів товарних блоків природного каменю та її впливу на техніко-економічні показники кар'єру // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. №4(43). – Житомир: ЖДТУ, 2007. – С. 149-155.
5. Левицький В. Г., Соболевський Р. В. Дослідження етапів калібрування цифрових неметричних камер з метою підвищення ефективності наземної фотограмметричної зйомки // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. №2(45). - Житомир, ЖДТУ, 2008. – С. 77-84.
6. Левицький В. Г., Соболевський Р. В., Панасюк А. В. Дослідження впливу кута і відстані цифрової фотограмметричної зйомки на точність побудови тривимірних моделей об'єктів кар'єру декоративного каменю // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Випуск 9(143). – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С. 147-151.
7. Левицький В. Г., Соболевський Р. В. Створення тривимірних моделей природних окремостей кар'єру як етап удосконалення маркшейдерського забезпечення видобування декоративного каменю // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Випуск 12(173). – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 232-238.