

## **РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ УЧЕТЕ ДОБЫЧИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КАРЬЕРА**

В настоящее время на многих горно-обогатительных комбинатах широко используются автоматизированные системы управления горными работами. Их применение позволяет получить экономический эффект за счет сокращения сроков подготовки данных, повышения точности и достоверности разных видов подсчета запасов, автоматизации обработки съемки горных работ в карьере, повышения точности определения объемов вынутой горной массы.

Планирование, учет и контроль горных работ отражают экономику горного предприятия. Чем точнее выполнена оценка добычи руд в карьере за отчетный период, тем реальнее оценивается эффективность использования недр и отклонения от плановых показателей.

Учет добычи руд является средством контроля добывающего процесса, основным звеном в технологическом процессе горно-обогатительного комбината. Полученная информация по добыче руд дает возможность оценить работу комбината за определенный период времени, является основанием для проведения оперативного и бухгалтерского учета, служит базисом для управления и планирования горных работ.

В мировой практике по учету добычи горной массы на промышленных предприятиях широко распространение получили методы: среднего арифметического, вертикальных, горизонтальных сечений, трехгранных призм, объемных палеток, правильных геометрических фигур. Данные методы направлены на решение частной задачи определения объемов вынутой горной массы, а на практике при учете добычи требуется оценка горной массы с разделением на руду и вскрышу с оценкой содержаний. Для оценки объемов вынутой горной массы с разделением на руду и вскрышу целесообразно одновременное использование цифровой модели карьера и цифровой модели месторождения,

содержащей данные опробования скважин [1]. Необходима разработка методов, позволяющих с высокой точностью определять как суммарные объемы вынутой горной массы, так и разделение их на руду и вскрышу с оценкой содержаний, а также определять объемы и содержания различных сортов и типов руд.

Применение модели дневной поверхности карьера с использованием В-сплайнов позволяет в наглядном виде увидеть подвигание горных работ в течение определенного периода, а также произвести подсчет объема вынутой горной массы в целом по карьере с высокой скоростью и максимальной точностью. Используя полученные при решении данной задачи результаты и данные опробования скважин из цифровой модели месторождения, можно с высокой эффективностью получить содержание руд в вынутой горной массе.

На информационной основе данных цифровой модели месторождения и результатов решения задачи учета добычи горной массы на основе моделирования дневной поверхности карьера с использованием В-сплайнов возможно разработать алгоритм расчета содержания качественных показателей в вынутой горной массе за отчетный период.

Информационной основой для разработки автоматизированной системы управления горными работами на карьерах являются первичные данные маркшейдерской съемки и результатов опробования скважин детальной и эксплуатационной разведки, взрывных скважин, а также координаты бровок уступов по горизонтам карьера. Эти данные соответственно представляют цифровую модель месторождения (ЦММ) и цифровую модель карьера (ЦМК).

Цифровая модель месторождения представляет собой базу данных, содержащую первичную информацию опробования скважин. Специалистами криворожского экономического института разработано

программное обеспечение по формированию и ведению ЦММ. Формирование ЦММ выполняется с минимальными трудозатратами. Это обеспечивается за счет того, что актуализация моделей выполняется одновременно с автоматизацией локальных расчетов для маркшейдерских и геологических служб предприятия. При

обработке данных по глубоким скважинам результаты решения выдаются пользователю и одновременно записываются в ЦММ [1]. В ЦММ информация по скважинам представлена по горизонтам. На рис.1 показано содержимое выбранного показателя по заданному горизонту.

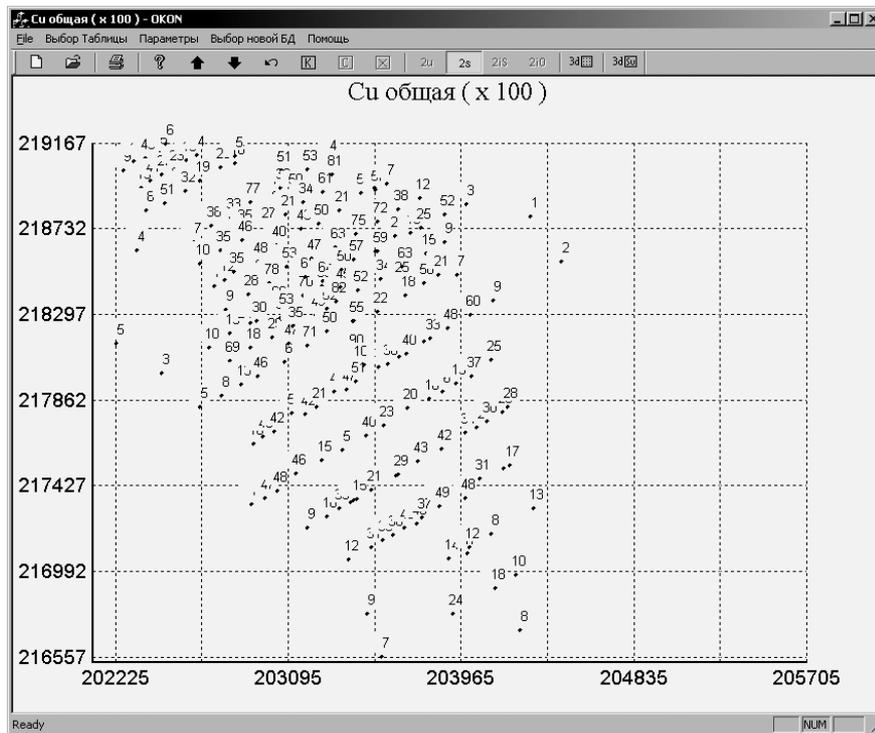


Рис. 1. Графическое изображение скважин одного горизонта, представленных в ЦММ

Реализация задачи моделирования дневной поверхности карьера с использованием В-сплайнов описана в работе [2]. На основе данной модели находится объем вынудой горной массы. Поверхность карьера в виде В-сплайна представлена совокупностью

пространственных четырехугольников, координаты которых, как правило, не находятся в одной плоскости. На рис.2 показан участок сплайн-поверхности, на котором жирными линиями выделен один из пространственных четырехугольников.

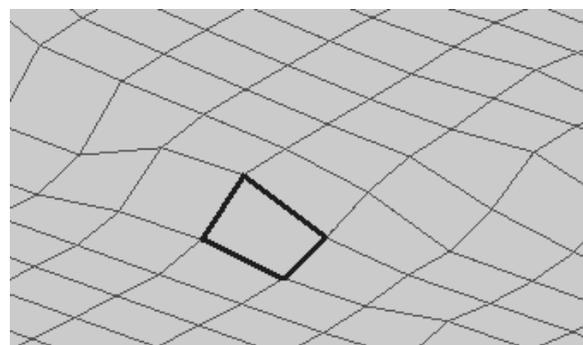


Рис.2. Участок поверхности с выделенным пространственным четырехугольником

В одной и той же заданной прямоугольной области, определяющей границы карьера, были построены две поверхности карьера – на начало и конец отчетного периода. Тогда объем вынутой горной массы за отчетный период вычисляется по формуле

$$V = \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_{i0}) \cdot S_i - \sum_{j=1}^n (Z_j - Z_{j0}) \cdot S_j, \quad (1)$$

где  $n$  – количество пространственных четырехугольников,  $Z_i, Z_j$  – усредненные высотные отметки по координатам  $i$ -го и  $j$ -го пространственного четырехугольника поверхности соответственно на начало и конец отчетного периода,  $Z_{i0}$  – нижняя отметка карьера,  $S_i, S_j$  – площади проекций на горизонтальную плоскость  $i$ -го и  $j$ -го

пространственных четырехугольников соответственно на начало и конец отчетного периода.

Площади  $S_i$  и  $S_j$  рассчитываются по следующим формулам:

$$S_i = \frac{1}{2} \left| \sum_{k=1}^4 y_k \cdot (x_{k+1} - x_{k-1}) \right|,$$

$$S_j = \frac{1}{2} \left| \sum_{l=1}^4 y_l \cdot (x_{l+1} - x_{l-1}) \right|,$$

где  $x_k, y_k, x_l, y_l$  – координаты точек четырехугольника поверхности соответственно на начало и конец отчетного периода.

На рис.3 темным цветом показано подвигание фронта горных работ (бровок уступов) за отчетный период.

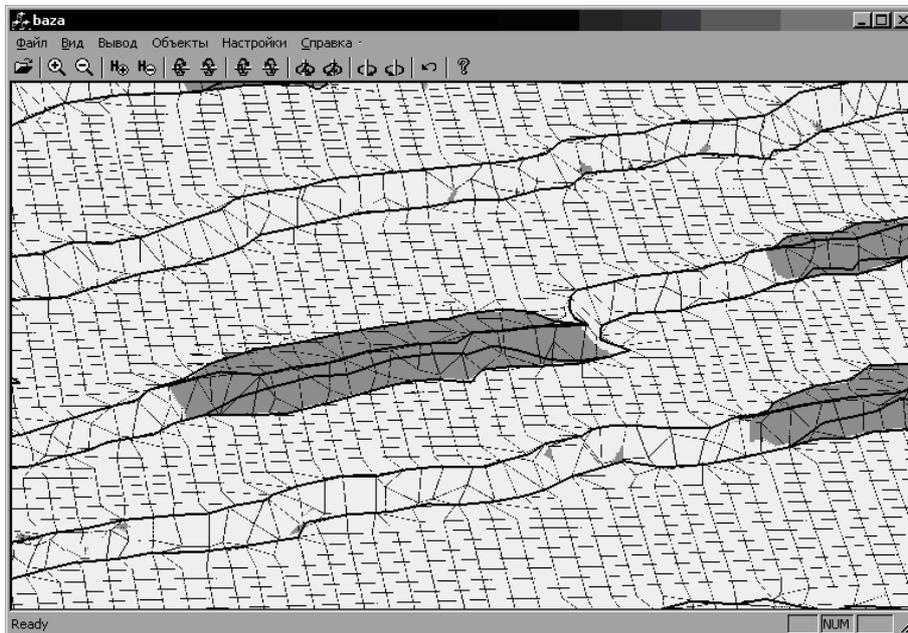


Рис.3. Подвигание фронта горных работ за отчетный период

Выражение  $(Z_i - Z_{i0}) \cdot S_i$  в формуле (1) является объемом горной массы в отдельной элементарной призме, верхнее основание которой пространственный четырехугольник поверхности, а нижнее – его проекция на горизонтальную плоскость. На информационной основе цифровой модели месторождения можно получить качественные показатели в данных элементарных призмах, что позволяет определить содержание показателей в вынутой горной массе.

Предлагается алгоритм расчета содержания качественных показателей в вынутой горной массе за отчетный период с использованием вышеизложенных исследований, укрупненная блок-схема которого представлена на рис. 4.

Решение задачи осуществляется в следующей последовательности:

**Блок 2.** В каждой элементарной призме определяется точка (интерполируемый узел), в которой будут определены качественные показатели относительно ближайших в пространстве скважин. Координаты этой

точки определяются как среднее значение координат вершин ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) пространственного четырехугольника этой призмы. При этом необходимо координату  $Z$  уменьшить на половину высоты уступа. Это

объясняется тем, что обработка месторождения ведется погоризонтально на высоту уступа.



Рис.4. Укрупненная блок-схема алгоритма реализации задачи определения содержания показателей в вынутой горной массе

Совокупность полученных узлов формирует интерполяционную сеть. Такая сеть строится по двум поверхностям – на начало и конец обработки.

**Блок 3.** В полученных узлах сети интерполяцией определяются значения качественных показателей относительно координат скважин. Скважины, которые будут участвовать в интерполяции узла, определяются следующим образом. Среди вершин пространственного четырехугольника, к которому относится узел, определяются максимальная и минимальная высотные отметки. Значение

минимальной отметки уменьшается на величину высоты уступа. Таким образом получают предельные значения блока, в центре которого расположен интерполируемый узел. Для полученной максимальной отметки верхнего основания и минимальной отметки нижнего основания блока находятся ближайшие горизонты, которые расположены ниже этих отметок. Скважины, которые относятся к найденным горизонтам, участвуют в интерполяции. На рис. 5а представлен пример поиска горизонтов со скважинами для интерполяции.

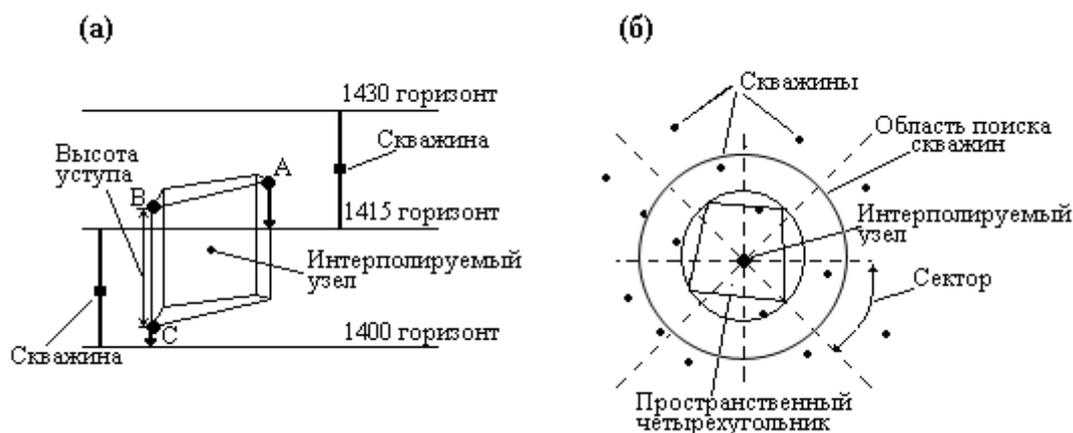


Рис. 5. Интерполяция: а) поиск ближайших скважин по высоте;  
б) поиск ближайших скважин в плане

Точки *A* и *B* являются, соответственно, максимальной и минимальной высотными отметками пространственного четырехугольника. Точка *C* – минимальная отметка, опущенная на высоту уступа. Относительно точек *A* и *C* осуществляется поиск ближайших горизонтов, расположенных ниже этих отметок. Для точки *A* ближайший 1415 горизонт, для точки *C* – 1400. Скважины 1400 и 1415 горизонтов будут участвовать в интерполяции.

При интерполяции значение высотных отметок скважин, так же как и отметка интерполируемого узла, уменьшаются на половину высоты уступа.

Интерполяция выполняется методом квадратов обратных расстояний

$$C_i = \sum_{j=1}^n C_j r_j^{-2} / \sum_{i=1}^n r_j^{-2},$$

где  $C_j$  – значение качественного показателя в точке скважины, ближайшей к вычисляемому узлу;  $n$  – количество ближайших скважин;  $r_j$  – расстояние от ближайшей скважины к узлу, которое вычисляется по формуле

$$r_j = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2},$$

где  $x_i, y_i, z_i$  и  $x_j, y_j, z_j$  – соответственно координаты интерполируемого узла и скважины.

При этом область поиска ближайших скважин ограничивается окружностью с центром в интерполируемом узле, радиус которой равен сумме радиуса окружности,

описанной вокруг пространственного четырехугольника и половины шага сети.

Во избежание влияния эффекта, связанного со скоплением опорных точек в одних направлениях и отсутствием их в других окружность вокруг узла делится на  $n$  секторов и в пределах каждого сектора находится одна точка, ближайшая к рассматриваемому узлу (рис. 5б). Найденные в секторах точки участвуют в интерполяции.

**Блок 4.** Выполняется расчет содержания качественных показателей в вынудой горной массе. Для каждой призмы, в которой уже был получен объем, рассчитывается содержание металла

$$M_i = C_i V_i$$

где  $C_i$  – интерполированное качество для  $i$ -й призмы;  $V_i$  – объем горной массы в  $i$ -й призме.

Затем вычисляется содержание металла в целом по карьере

$$M = \sum M_i.$$

Данные расчеты производятся для моделей, построенных на начало и конец отчетного периода.

Содержание металла в вынудой горной массе за отчетный период определяется по формуле

$$M_o = \frac{\Delta M}{V},$$

где  $\Delta M$  – разница содержаний металла в вынудой горной массе по карьере на начало и конец отчетного периода;  $V$  – объем вынудой горной массы за отчетный период, рассчитанный по формуле (1).

*Блок 5.* Производится вывод результатов расчетов.

По данному алгоритму можно рассчитать содержание любого показателя в вынудой горной массе за отчетный период.

*Выводы.* Учет добычи руд является одной из важных задач в технологическом процессе горно-обогатительного комбината. Разработка методов, позволяющих с высокой точностью определять объемы и содержания различных сортов и типов руд достаточно актуальна. В связи с этим был предложен алгоритм решения задачи содержания качественных показателей в вынудой горной массе за отчетный период, информационной основой которой являются данные цифровой модели месторождения и результаты решения задачи учета добычи на основе моделирования дневной поверхности карьера с использованием В-сплайнов. Его реализация в автоматизированной системе управления горными работами позволит повысить точность выполнения оценки добычи руд в карьере, а также эффективность принятия решений при управлении горным предприятием.

#### **Литература**

1. Зеленский А.С. Методологические основы маркшейдерского обеспечения планирования и учета добычи в информационной системе управления рудным карьером : Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.01 / Криворожский технический ун-т. – Кривой Рог, 2003. – 357 с.

2. Зеленский А.С., Лысенко В.С., Мельничук В.И. Моделирование поверхности карьера с использованием В-сплайнов // Вісник КТУ – Кривий Ріг: КТУ. – 2009. – Вип. 23. – С. 50-54.