

УДК 622.271.3: 619.95

**А.М. Валуев**

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И КАРЬЕРА В ЗАДАЧАХ САПР**

*Анализируются основные типы моделей карьера и их рациональные сочетания с моделями месторождения с позиций адекватности задачам САПР и способов вычисления объемно-качественных показателей открытой разработки.*

*Ключевые слова: модель карьера, модель месторождения, показатели открытой разработки, методы вычислений.*

---

**М**атематическое моделирование месторождения и его разработки в равной степени служат краеугольным камнем автоматизированного проектирования и планирования. Их взаимодействие совершенно необходимо для того, чтобы решать какие-либо содержательные задачи, обязательно предполагающие расчет объемов горной массы, запасов полезного ископаемого, его качества, коэффициента вскрыши, бортового содержания и т.п. В настоящей работе рассматриваются некоторые элементы этого взаимодействия и взаимозависимости.

Заметим, что, в строгом смысле термины любая математическая модель выражается системой величин и системой взаимосвязей между ними. Поэтому обычное выражение «математическая модель месторождения» не всегда корректно, т.к. система величин имеется обязательно, а вот взаимосвязи между ними могут отсутствовать, т.к. обычные фактографические модели не выявляют никаких закономерностей в расположении полезного ископаемого и его качественных показателей в пространстве. Можно скорее говорить об информационных моделях, как они понимаются в теории баз данных. В контексте настоящей работы мы по сути дела и

«математические модели карьера» рассматриваем только как информационные.

Структурно простейшей моделью месторождения является регулярная блочная модель, в которой пространство горного отвода разбивается на отдельные прямоугольные параллелепипеды, обычно квадратные в плане. Такая модель чаще всего используется в задачах определения границ карьера, и в этом случае естественной формой модели карьера является блочная форма с блоками тех же или больших размеров. Главное, и, пожалуй, единственное достоинство такой комбинации заключается в крайней простоте расчета количественных и качественных характеристик обрабатываемых запасов: нужно просто суммировать значения масс руды или металла в блоках месторождения, соответствующих блокам, представляющим соответствующий этап разработки.

Против блочной формы моделей месторождения принципиальных возражений нет. По сути тела это просто форма дискретизации информации о форме рудных тел или пластов и о значении качественных показателей в их пределах. С учетом точности исходной информации можно обосновать такие размеры блоков, при которых дальнейшее их измельчение не

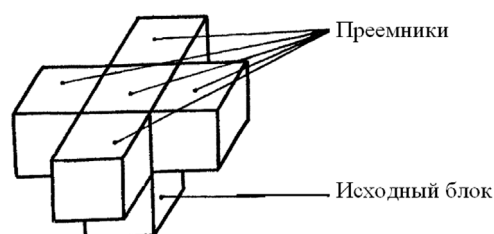
приводит к большей точности данных, т.к. объективная информация об изменчивости свойств горных пород в пределах блоков таких размеров отсутствует. Однако против использования блочных моделей карьера в большинстве задач автоматизированного проектирования можно выдвинуть существенные возражения.

С одной стороны, для минимизации погрешности представления геологических данных, как уже отмечалось, есть оптимальные размеры блоков. Но использовать блоки таких размеров для представления карьера может быть бессмысленно, т.к. по крайней мере, их размеры по высоте должны соответствовать высотам уступов и дальнейшее их уменьшение ничего не дает. Уменьшать их размеры в плане также весьма накладно. Если применяются методы направленного выбора (оптимизации) конфигурации карьера, то в силу «проклятия размерности» их расчет реален при ограниченном по порядку количеству блоков карьера. Если же речь идет об интерактивном определении конфигурации карьера, то тем более применение мелких блоков делает человеко-машинный диалог совершенно ненадежным занятием. Это будет все равно, что создание изображения путем явного указания характеристик всех пикселей по отдельности. Но при использовании для представления карьера блоков больших размеров, чем для представления залежи мы не можем использовать имеющуюся информацию о различии показателей в пределах блока карьера, в который входят несколько блоков месторождения.

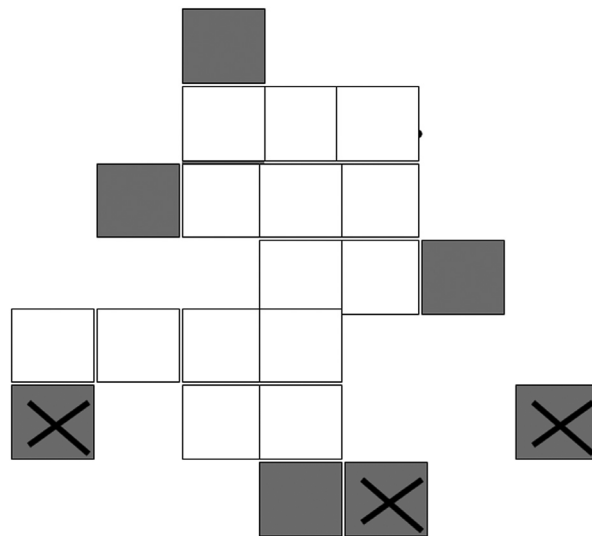
Другое возражение связано с анализом погрешности блочного представления реальной формы

карьера, конкретные оценки для которого приведены в работе [1]. С одной стороны, традиционные блочные модели, которые грубо выражают лишь ограничение на углы откоса бортов (рис. 1), с измельчением их размеров хуже, а не лучше выражают присущую карьере степень изогнутости контуров (ограниченность их кривизны). Не противоречит блочным моделям и наличие узких «усов», отходящих от основного объема или, наоборот, вырезанных из основного объема и даже одиночных блоков в произвольном количестве вне основного объема и вырезанных из него (рис. 2).

В общем, с блочными моделями наблюдается ситуация, отмеченная весьма давно. «Объемная математическая модель позволит достаточно легко решать и задачи второго направления, при котором проектирующее лицо ставит целью отыскать оптимальные решения на каждом этапе работ и в целом по карьере (например, порядок горных работ, обеспечивающий минимальные или равномерные текущие коэффициенты вскрыши,... поступление сортов полезного ископаемого в определенном соотношении, и т.д.). При таких задачах пока трудно сформулировать ограничивающие условия, обеспечивающие планомерность и безопасность вскрышных и добычных работ,



**Рис. 1. Допустимая комбинация блоков смежных слоев**



**Рис. 2. Расположение блоков карьера в одном слое:** □ — правильные блоки; ■ — блоки, нарушающие гладкость границы; ☒ — блоки-«усы» и изолированные блоки

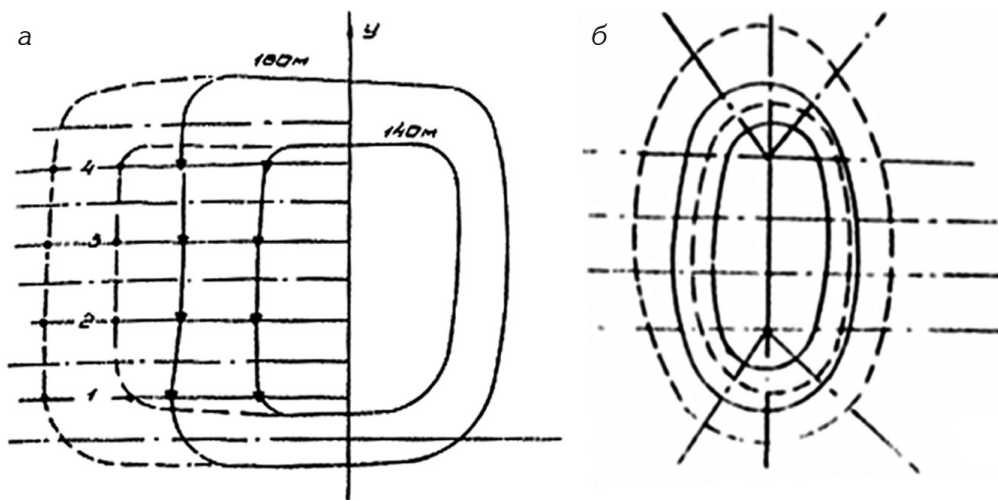
реальность осуществления искомого порядка работ по техническим факторам, общую экономичность работ и т.д.» [2, с. 16] Заметим, однако, что в блочных моделях обычно не формулируются не только трудновыразимые, но и совершенно элементарные по сути условия типа ограничения на кривизну.

Тем не менее, каких-то существенных причин, по которым такие простые условия нельзя было бы включить в блочную модель, нет. Например, из ограничения на кривизну замкнутой линии вытекает, что сегмент круга радиуса  $R_{\min}$ , касающегося линии изнутри, целиком лежит внутри кривой. Подобное условие справедливо и для внутренних точек. (Мы говорим о сегменте круга, а не о круге в целом по той причине, что расстояние между противоположными бортами может быть ограничено величиной, меньшей  $2R_{\min}$ , тогда круг вписать нельзя, а сегмент надлежащей высоты — можно).

Приближая такой сегмент комбинацией квадратов, можно потребовать, чтобы хотя бы одна такая блочная аппроксимация сегмента лежала в пределах текущих границ карьера. Конечно, такое сложное условие существенно усложнит направленный поиск конфигурации карьера. Более простыми условиями — по наличию определенного набора смежных блоков — можно отсеять изолированные блоки и усы.

По сути дела только блочные модели в полной мере могут быть названы пространственными, остальные относятся к так называемым 2,5D моделям, для которых описание горных выработок ведется по сечениям, а в пределах слоя — граничными линиями. Эти сечения — как правило, плоскости подошвы уступов или плоскости, проходящие посередине между ними.

В интерактивном режиме чаще используются контурные модели, аппроксимирующие текущие границы



**Рис. 3. Секторные модели ППГР:** - - - — контуры последующего ППГР; — · — — границы секторов и полос трафарета

карьера (выработанного пространства) ломаными или, реже, кусочно-окружностными линиями или иными с использованием других способов аппроксимации параметрическими гладкими линиями. В задачах направленного выбора они почти не используются, хотя автор имел опыт решения оптимизационной задачи на контурной модели карьера [3].

Напротив, для оптимизационных задач планирования на год или несколько лет наиболее популярны секторные модели, впервые введенные И.Б. Табакманом [4] (рис. 3). Оригинальная модель, в которой положение горных работ в секторе задается одним числом — расстоянием от начала сектора на его оси — приближает текущие границы карьера (бровки уступов) ступенчатыми линиями, участки которых перпендикулярны оси сектора. Эти линии воспроизводят формы бровок со значительной погрешностью. Существенно ограничивают они и набор рассматриваемых

вариантов такими контурами, которые пересекаются со всеми границами секторов и их осями ровно по одному разу. Но у такой секторной модели есть одно существенное преимущество в части расчета запасов и их качества на обрабатываемых за этап участках залежи в процессе решения задачи (в итерационном процессе оптимизации плана горных работ). Для этого предварительно залежь должна быть разделена на участки, ограниченные по высоте границами уступов, а в плане — границами секторов. После этого целесообразно разделить каждый участок на расчетные блоки прямыми, ортогональными оси сектора, таким образом, чтобы в пределах расчетного блока изменчивость мощности и качества полезного ископаемого была пренебрежимо мала, т.е. относительная ошибка была меньше погрешности распространения исходных геологических данных (проб) на пространство между скважинами. Точнее сказать, раз-

деление производится наклоненными под углом откоса борта плоскостями, проходящими через описанные прямые.

С учетом этих предварительных расчетов объемы полезного ископаемого, отдельных его сортов и компонентов рассчитываются по блокам в виде кусочно-линейных или кусочно-квадратичных функций от положения горных работ в секторе. Для случая непрерывно дифференцируемых зависимостей их производные также вычисляются почти аналитически.

Можно с некоторой натяжкой сказать, что строится и применяется блочная модель месторождения с блоками непрямоугольной формы. Эти блоки могут быть получены либо путем отрезания от больших блоков правильной формы частей, лежащих вне границ сектора, либо, наоборот, путем складывания расчетного блока из меньших блоков правильной формы. Тот же способ расчета может быть применен и для случая, когда в секторной модели система секторов строится отдельно для каждого уступа. Геометрические вычисления при образовании расчетных блоков несложны, т.к. границы секторов считаются плоскостями.

Собственно расчет блочной модели на основе первичных геологических данных может быть выполнен разными способами [5], в том числе методами геостатистики [6]. Следует отметить, что последние, как и некоторые другие, позволяют сделать оценки качества полезного ископаемого не только в объемах, но и на плоских площадках и в отдельных точках. Последнее позволяет предложить более гибкую модель месторождения, удобную для

расчета моделей карьера, не сводящихся к вышеперечисленным. Речь идет о построении однородной трехмерной сетки (решетки) в области залежи, в узлах которых рассчитываются показатели полезного ископаемого.

Среди моделей последнего типа можно указать модель [7], применяющую контурный способ описания с привязкой к границам секторов. В каждом секторе положение характеризуется точками пересечения бровки с обеими границами сектора. При этом в смежных секторах границами бровок будут служить одни и те же точки (ступеньки на границе не возникает), кроме случая, когда один сектор принадлежит к рабочей зоне, другой — к нерабочей. Такой тип модели имеет много меньшую методическую погрешность по сравнению с оригинальной секторной моделью при почти той же размерности. Зато разнообразие вариантов ориентации бровки относительно оси уступа делает вышеописанную модель залежи с блоками непрямоугольной формы непригодной. Расчет объемов и качества полезного ископаемого может производиться по трехмерной сеточной модели путем интегрирования пространственных функций значений геологических признаков, выраженных интерполяционной формулой. Если простой формой интерполяции между узлами на прямой является кусочно-линейная, на плоскости кусочно-билинейная, то в пространственном объеме функцию можно назвать кусочно-трилинейной, т.е. выражаемой на интервале постоянства интерполяционной формулы многочленом третьего порядка.

Интегрирование такой функции по многограннику, выражающему границы этапа в пределах сектора, сводится к сложению двойных интегралов по площадкам от многочленов третьего порядка, т.е. в конечном счете, сводится к суммированию аналитических выражений.

лов по площадкам от многочленов третьего порядка, т.е. в конечном счете, сводится к суммированию аналитических выражений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валуев А.М.* Горно-геометрическое моделирование в задачах проектирования открытых горных работ: Учебное пособие. — М.: МГИ, 1989. — 107 с.
2. *Проектирование, планирование и управление производством на карьерах посредством ЭВМ* / Под общ. ред. член-корр. АН СССР В.В. Ржевского. — М.: Недра, 1966.
3. *Валуев А.М.* О применении дискретного оптимального управления для решения задач определения контуров рабочей зоны карьера // Открытая разработка угольных месторождений: Межвуз. сб. науч. трудов. Кемерово: КузПИ, 1987. — С. 62—67.
4. *Табакман И.Б.* Принципы построения АСУ на карьерах. — Ташкент: Фан, 1977. — 140 с.
5. *Шек В.М.* Объектно-ориентированное моделирование горнопромышленных систем. — Учеб. пособие. — М.: Издательство МГГУ, 2000. — 304 с.
6. *Матерон Ж.* Основы прикладной геостатистики. — М.: Мир, 1968. — 408 с.
7. *Валуев А.М.* Комбинированные модели борта карьера в задачах годового и среднесрочного планирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 8. — С. 110—113. **ПИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Валуев А.М.* — доктор физико-математических наук, профессор, amvaluev@online.ru. Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru



#### ДИССЕРТАЦИИ ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>ДГП «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А. КУНАЕВА»</b>			
АБДУЛГАЛИЕВА Гульжан Юсупхановна	Теоретическое обоснование управление газовыделением из подработанного газонасыщенного массива горных пород налегающей толщи	25.00.20 05.26.01	д.т.н.
ТКАЧЕНКО Оксана Николаевна	Разработка технических средств безаварийной доставки горной массы крутонаклонным подъемником с глубоких карьеров	05.05.06	к.т.н.