

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.363.2.013.3-021.465:004.94(045)(476)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДЫ НА КАЛИЙНОМ РУДНИКЕ

Гец А.К., Крук Ю.С., Остапук М.И., Омшарук А.С. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В статье предложен один из методов динамической стабилизации качества руды, добываемой на калийных рудниках. Метод основан на математическом моделировании процессов добычи и транспортировки руды по системе конвейеров горизонта от забоев до стволов, с учетом ряда ограничений технологического и временного характера.

Ключевые слова: *математическое моделирование, веб-приложение, качество руды, стабилизация качества.*

Введение

Стабилизация качества руды, поступающей с горизонтов рудника на обогательную фабрику, является одним из основных факторов, который необходимо учитывать при организации оперативного управления горными работами. Выбор этого критерия обосновывается тем, что расхождение в планируемых и фактических качественных характеристиках руды напрямую связано с рациональным использованием ресурсов горнодобывающего предприятия. Выполнение плана по объему горной массы на отдельном горизонте может быть обеспечено либо выполнением плана каждым из работающих забоев, либо перевыполнением плана некоторыми забоями для покрытия дефицита в руде на других. План для горизонта определяется не только суммарным объемом горной массы, но и качественными характеристиками добываемой руды.

Таким образом, возникает актуальная задача стабилизации качества руды на горнодобывающем предприятии, рассматриваемая ранее в [1, 2], с точки зрения минимизации расхождения планового и фактического качества добываемой руды при условии выполнения плана по объему добычи. Стратегия управления конвейерными линиями должна учитывать вариативность качества добываемой руды и регулировать процесс добычи с целью оптимизации использования ресурсов горнодобывающего предприятия.

Регулирование должно осуществляться на уровне управления горизонтом, определяемого его стратегией в целом, поскольку сложно, с точки зрения технической реализации, осуществить стабилизацию качества на одном участке – это определяется ограниченным количеством комбайнов, приблизительно одним качеством потока руды от каждого из них, различием в стадиях технологического цикла каждого забоя и т.д.

В рамках решения поставленной задачи реализовано компьютерное моделирование процесса добычи руды и ее транспортировки по конвейерным линиям горнодобывающего предприятия. Целью исследования является составление аналитического прогноза качества добытой руды на заданный период времени (час, смена, сутки), а в перспективе – определение вероятностной точности прогноза.

1. Поиск оптимального управления горнодобывающим комплексом для стабилизации качества добываемой руды

В рамках компьютерного моделирования рассматривается задача поиска оптимального режима функционирования добычных комплексов с точки зрения минимизации расхождения планового и получаемого качества руды в результате работы j -го количества забоев:

$$L(x) = \max |\alpha_{\phi_i} - \alpha_p| \rightarrow \min,$$

где $i = (1, 2, \dots, m)$ – число квантов времени управления в течение смены;

$j = (1, 2, \dots, n)$ – количество функционирующих добычных забоев;

$$\alpha_{\phi_i} = \frac{\sum_j \alpha_j Q_{ij} X_{ij}}{\sum_j Q_{ij}} \text{ – средневзвешенный показатель качества добываемой руды, поступающей к стволу горизонта;}$$

α_p – показатель качества руды с горизонта, определяемый планом;

α_j – показатель качества руды из j -го забоя.

Ограничениями на параметры модели являются:

- необходимость выполнения забоями сменного плана по добыче руды;
- пропускные способности панельных конвейеров;
- пропускная способность магистрального конвейера.

Таким образом, ограничения имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum_j Q_{ij} X_{ij} &\leq W_k^i; \\ \sum_j Q_{ij} X_{ij} &\leq W_u^i; \\ \sum_i Q_{ij} X_{ij} &\geq P_j, \end{aligned}$$

где $k = (1, 2, \dots, l)$ – количество магистральных конвейеров на горизонте;

$u = 1, 2$ – количество стволов на горизонте;

Q_{ij} – матрица возможностей забоев. Она определяет возможности по добыче руды j -м забоем в i -й период времени;

W_k^i – пропускная способность k -го магистрального конвейера в i -й период времени;

W_u^i – пропускная способность u -го ствола в i -й период времени;

P_j – сменный план j -го забоя по добыче руды;

X_{ij} – матрица-индикатор, определяющая, работает ли j -й конвейер в i -й промежуток времени:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й забой работает в } i\text{-й период времени;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для решения поставленной задачи проводится компьютерное моделирование процесса стабилизации качества руды. На языке *Python* разработана программа, позволяющая осуществить выбор оптимальной стратегии управления.

В основу программы положены результаты математического моделирования из [1], в рамках которого оптимизационная задача решалась при помощи алгоритма направленного случайного поиска с самообучением. Основные этапы компьютерного моделирования приводятся на рисунке 1.

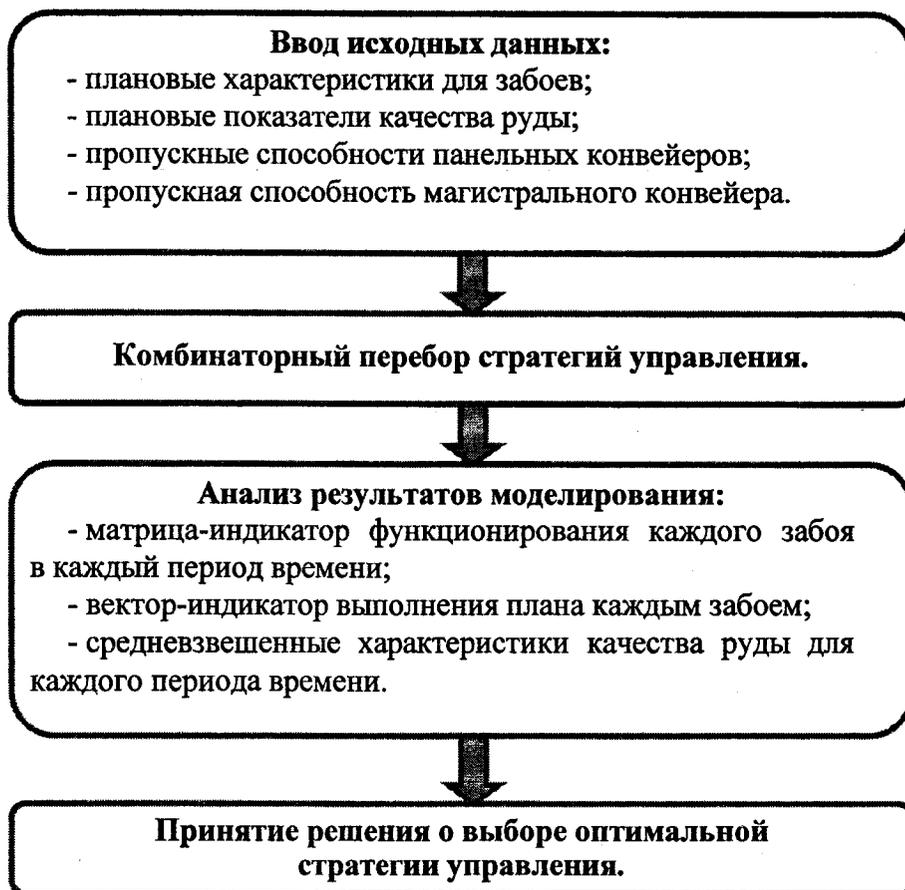


Рисунок 1. – Основные этапы компьютерного моделирования

Программа получает следующую входящую информацию:

- количество стволов на горизонте;
- количество магистральных конвейеров;
- количество квантов времени управления в течение смены;
- количество функционирующих забоев;
- плановые показатели качества добываемой руды;
- матрицу возможностей добычных забоев и пропускные способности конвейеров и стволов.

Комбинаторно, перебирая различные варианты включения в работу забоев, параллельно корректируя выполнение плана каждым из забоев, либо стараясь минимизировать невыполнение плана, программа позволяет получить и проанализировать список параметров, представленный в таблице 1.

Определяющим при выборе стратегии управления является значение матрицы-индикатора $X = (x_{ij}), i = 1, m, j = 1, n$, характеризующей активности конвейеров для каждого кванта времени. Отрицательные значения вектора невязок Δ характеризуют выполнение плана соответствующим забоем.

Таблица 1. – Результаты моделирования

Параметр моделирования	Пример формата вывода параметров моделирования
Матрица-индикатор $X = (x_{ij}), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$	$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix}$
Вектор-индикатор $\Delta = (\delta_j), j = \overline{1, n}$	$\Delta = [-0.5, -0.42, 0, -0.167]$
Вектор параметров качества руды $\alpha_{\phi_i}, i = \overline{1, m}$ – средневзвешенная величина качества руды для каждого промежутка времени	$\alpha_{\phi_i} = [3.741, 3.698, 3.654]$

Таким образом, результаты моделирования позволяют сделать вывод о выполнении/невыполнении плана каждым забоем при выборе конкретной стратегии управления. Заметим, что при выборе решения имеет смысл учитывать тот фактор, что включение комбайнов в работу связано с определенным графиком, регулирующим рабочие смены забоев. Поэтому было бы целесообразно из всех возможных решений выбирать то, которое в наибольшей степени соответствовало бы реальному рабочему графику. Следует отметить, что для каждой стратегии управления можно проанализировать средневзвешенные характеристики качества руды и выбрать стратегию (или стратегии), позволяющую решить задачу стабилизации качества руды, поступающей с горизонта на обогатительную фабрику. Запланировано усовершенствование разработанного алгоритма с точки зрения учета рабочего графика обслуживания конвейеров.

2. Разработка приложения в Oracle Apex для моделирования процесса добычи руды на калийном руднике

Одним из этапов компьютерного моделирования, направленного на решение поставленной задачи стабилизации качества руды, а также для решения задачи прогнозирования объемов добычи руды калийным рудником, является разработка приложения в *Oracle Apex*. Разработанное приложение хранит информацию о следующих сущностях-массивах (таблица 2).

Таблица 2. – Список базовых массивов приложения

№	Наименование массива	Таблица в приложении	Информация в таблице
1	2	3	4
1	список комбайнов	MOUNTAIN_ARRAY_OF_COMBINE	информация о комбайнах и их местоположении в руднике
2	массив табельный оперативный	MOUNTAIN_ARRAY_PERSONAL_OPERATING	информация о сотруднике и его специальности

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
3	массив табельный нормативный	MOUNTAIN_ARRAY_ PERSONAL_ NORMAL	информация о местоположении и времени работы сотрудника
4	список лав	MOUNTAIN_NAME_ OF_ LAVA	информация о лавах, их длине и количестве слоев в лаве и др.
5	параметры качества руды	MOUNTAIN_PARAM_ QUALITY_ OF_ ORA	информация о мощности пласта, содержании KCL и H ₂ O для каждого слоя лавы
6	параметры моделирования	MOUNTAIN_ARRAY_ PARAM_ OF_ MODELING	информация о расположении комбайнов в лавах, а также о параметрах операций, производимых комбайном
7	массив моделирования	MOUNTAIN_ARRAY_ OF_ MODELING	информация о типе и номере комбайна, информация о времени работы, номере операции и расстоянии от вентиляционного штрека на начало часа. Также массив моделирования хранит данные полученные в результате моделирования: номер операции и расстояние от вентиляционного штрека на конец часа, количество добытой руды за час
8	массив возможностей	MOUNTAIN_ARRAY_ OPPORTUNITIES	информация о прогнозе количества добытой руды
9	график переключения	MOUNTAIN_ SWITH_ ZAB	график переключения забоев

Рисунок 2 иллюстрирует взаимосвязи между созданными сущностями.

На рисунке 3 приводятся данные моделирования для прогнозирования количества добытой руды на заданный период.

На рисунке 4 проиллюстрирован график переключения забоев, который будет принимать данные, полученные в рамках решения задачи оптимизации для стабилизации качества добываемой руды, описанной в первом разделе настоящей статьи.

Заключение

По результатам моделирования можно спрогнозировать объем добываемой руды для заданного промежутка времени, а также принять решение о выборе стратегии управления, минимизирующей расхождение планового и средневзвешенного качества руды. Вместе с тем возникает актуальная проблема выбора оптимального решения с практической точки зрения. В реальности из четырех квантов рабочего времени (смен в

течение суток) три являются последовательными периодами непосредственной работы, а четвертая смена является нерабочей (ремонтной).

В дальнейших исследованиях запланировано решение указанной проблемы и выработка поиска оптимальной стратегии управления, отвечающей не только условиям математической модели, но и ограничениям с практической точки зрения.

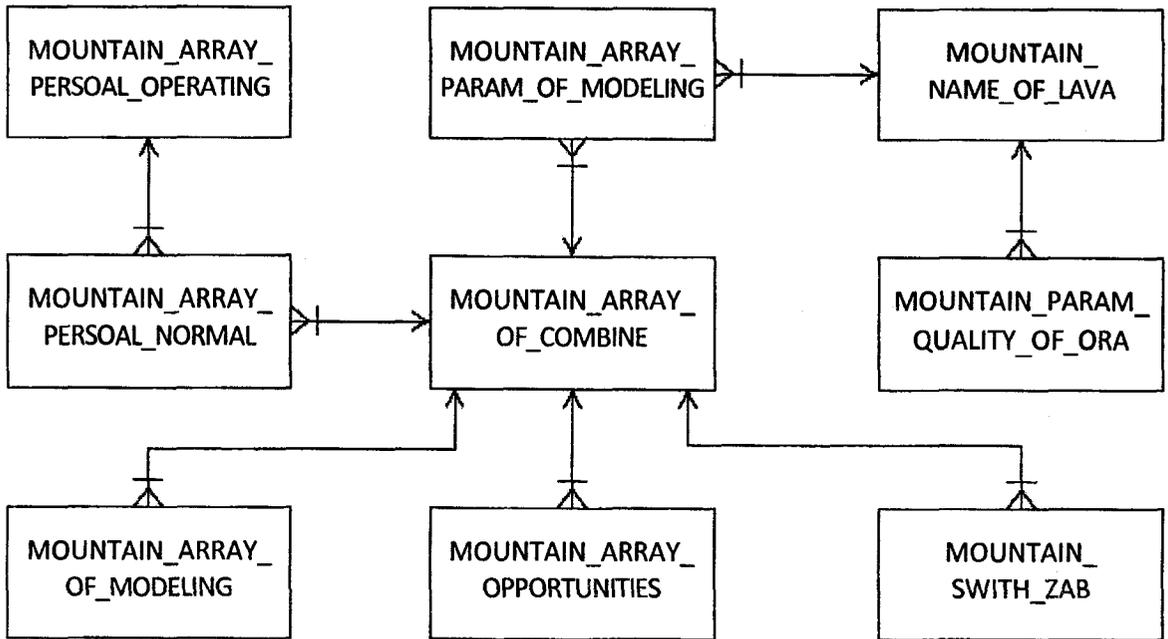


Рисунок 2. – Диаграмма, отображающая сущности и связи между ними

тип и номер комбайна	дата	номер смены	час смены	операция (начало часа)	расстояние (начало часа)	операция (конец часа)	расстояние (конец часа)	количество добытой руды (т)
SL-300 1	27-APR-17	1	1	2	196.2	1	7.8	88.8079
SL-300 1	27-APR-17	1	2	1	7.8	2	140.3	256.6274
SL-300 1	27-APR-17	1	3	2	140.3	3	127.4	189.1096
SL-300 1	27-APR-17	1	4	3	127.4	2	84.4	156.3257
SL-300 1	27-APR-17	1	5	2	84.4	2	234.4	250.047
SL-300 1	27-APR-17	1	6	2	234.4	2	28.5	67.6053

Рисунок 3. – Моделирование параметров и построение прогноза

дата смены	номер смены	тип и номер комбайна	первый час	второй час	третий час
26-APR-17	1	SL-300 1	0	0	0
26-APR-17	2	SL-300 1	1	1	1

Рисунок 4. – График переключения забоев

Список использованных источников

1. Гец, А.К. К вопросу управления качеством руды на калийном руднике / А.К. Гец, С.Г. Оника // Горная механика и машиностроение. – 2016. – № 1. – С. 27-30.
2. Гец, А.К. Организация оперативного управления горными работами в условиях калийного рудника п/о «Беларуськалий»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 08.00.05 / А.К. Гец; Московский Горный институт. – М., 1978. – 18 с.

Gets A.K., Kruk Yu.S., Ostapuk M.I., Omsharuk A.S.

Computer modelling of the process of dynamic quality management of potash ore at the mine

The article proposes one of the methods of dynamic stabilization of the quality of ore mined in potash mines. The method is based on mathematical modeling of ore mining and transportation processes along the horizon conveyor system from the mine face to the trunks, taking into account a number of technological and temporary limitations.

Keywords: mathematical modeling, web-application, ore quality, quality stabilization.

Поступила в редакцию 23.10.2017 г.