

шение дохода за счет формирования временного или постоянного внутреннего отвала, четвертая - расходы на переэкскавацию временного внутреннего отвала. Целевая функция оптимизируется по максимуму, т.е. $F_{цл} \rightarrow \max$.

Целевая функция предусматривает также оптимизацию объемов складирования вскрышных пород во внутренний отвал и объемов переэкскавации. Целевая функция имеет ограничения по минимальной и максимальной емкости временного внутреннего отвала на каждом этапе, а также по емкости внутреннего отвала, и производительности оборудования при формировании и перемещении внутреннего отвала. Также ограничения учитывают необходимость перемещения всего объема внутреннего отвала предыдущего этапа.

После получения результатов моделирования и их анализа определяется оптимальная глубина начала внутреннего отвалообразования с учетом экономической целесообразности, а также годовые объемы складирования вскрышных пород во внутренний отвал в течение всего периода работы карьера.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, при разработке крутопадающих месторождений с применением технологии внутреннего отвалообразования, которая предусматривает формирование временного внутреннего отвала, определение в карьере режимов добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ необходимо осуществлять по предлагаемому критерию, в основу которого положена идея оптимизации годовых объемов складирования вскрышных пород во внутренний отвал и объемов их переэкскавации в зависимости от годовых объемов выемки вскрышных пород и производительности карьера по полезному ископаемому для получения максимальной дисконтированной прибыли за весь период эксплуатации карьера.

Список литературы

1. Рутковский Б.Т. Блоковый способ отработки карьерных полей с большим простираем // Разработка угольных месторождений открытым способом. – Кемерово, 1972. – Вып. 1. – С. 82 - 87.
2. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений полезных ископаемых: А. с. 337516 СССР, МКИЗ Е 21 С 41 / 00 / Б.Т. Рутковский. – Опубл. 05.05.72., Бюл. № 15.
3. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений при отработке глубоких горизонтов карьера: А. с. 968402 СССР, МКИЗ Е 21 С 41 / 00 / В. Ф. Бызов, В. Н. Романенко. – Опубл. 23.10.82., Бюл. № 39.
4. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии открытой разработки месторождений. - М.: Недра, 1993. - 272 с.
5. Шапарь А.Г., Лашко В.Т., Романенко А.В. и др. Основные положения новой технологии разработки крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием // Разработка рудных месторождений. – 1988. – Вып. 45. – С. 3 - 6.
6. Положення про проектування внутрішнього відвалоутворення та складування відходів виробництва в залізрудних і флюсових кар'єрах. – Дніпропетровськ: Мінерал, 2004. – 50 с.
7. Технология разработки с внутренним отвалообразованием для крутопадающих месторождений / Шапарь А.Г., Лашко В.Т., Романенко А.В. и др. – Днепропетровск: Облполиграфиздат, 1987. – 4 с.
8. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений: А. с. 1155755 СССР, МКИЗ Е 21 С 41 / 00 / А.Г. Шапарь, В.Т. Лашко, А.В. Романенко и др. – Опубл. 15.05.85, Бюл. № 18.
9. Романенко А.В. Обоснование основных параметров технологии разработки крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием, обеспечивающей снижение землеемкости производства: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.15.03 / Днепропетровский горный ин-т им Артема. – Днепропетровск, 1989. – 17 с.
10. Просандеев Н.И. Определение основных параметров внутренних отвалов // Разработка рудных месторождений. – 1982. – Вып. 33. – С. 81 - 88.

Рукопись поступила в редакцию 03.03.14

УДК 622.72: 622.341

В.А. АЗАРЯН, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ КАЧЕСТВА В РУДОПОТОКЕ

Рассмотрены математическая модель динамической стабилизации колебаний качества обоснование в рудопотоке карьера, графики ежемесячных усредненных показателей значений содержания железа магнитного на входе обогатительной фабрики и прогнозируемые на основании модели значения. Анализ приведенных графиков показывает достаточно хорошую сходимостью реальных и моделируемых величин содержания железа в руде на входе ОФ.

Решение технологической задачи по формированию рудопотока карьера с заданными каче-

ственными показателями позволяет обеспечить оптимальный режим работы обогащительного производства.

Обогащительные фабрики (ОФ), как объекты управляющего воздействия, характеризуются транспортными запаздываниями и включают в себя технологические объекты со значительной инерцией. При воздействии входных возмущений это приводит к длительным переходным процессам, что снижает эффективность работы обогащительной фабрики. Для достижения стабильности функционирования ОФ необходимо обеспечивать стабильность качества железной руды, поступающей на технологическую переработку.

Содержание полезного компонента в железной руде характеризуется стохастичностью, что определяется особенностями разрабатываемых железорудных месторождений. Содержание железа в потоке руды зависит от времени, поэтому оно может быть рассмотрено как случайный процесс.

Решение задачи стабилизации колебаний содержания железа в руде, поступающей на переработку на ОФ, должно быть основано на методах стохастического управления. Первым шагом при решении рассматриваемой задачи является исследование случайного процесса, описывающего содержание железа в руде на входе ОФ для прогнозирования содержания железа для последующей стабилизации колебаний его содержания.

Вследствие дискретности поступления информации о содержании железа в рудопотоке на входе ОФ случайный процесс, описывающий содержание железа, можно рассматривать как дискретный временной ряд. При исследовании этих рядов представляется наиболее эффективным использование параметрических математических моделей. Параметрические методы для рассматриваемой задачи являются наиболее эффективными, поскольку используют меньшее число параметров по сравнению с непараметрическими (например, спектральным анализом).

Следует отметить, что параметрические модели при их построении требуют более полной априорной информации об изучаемых временных рядах, в частности, необходимо выбрать структуру модели временного ряда. При таком подходе обосновано применение статистической теории оценивания и теории проверки статистических гипотез.

Пусть на вход ОФ поступает поток железной руды. Обозначим измеренные содержания железа в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_N$ через $c(t_1), c(t_2), \dots, c(t_k), \dots, c(t_N)$. Учитывая, что содержание железа измеряется через фиксированный интервал времени Δ , то временной ряд, описывающий содержание железа в руде, представляет собой последовательность величин содержания железа

$$c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_N, \quad (1)$$

которые являются обозначением измеренных содержаний железа в равноотстоящие моменты времени $t_0 + \Delta, t_0 + 2\Delta, \dots, t_0 + k\Delta, \dots, t_0 + N\Delta$.

В дальнейшем, если принять t_0 за начало отсчета, а Δ за единицу времени, то c_t можно рассматривать как содержание железа в момент времени t .

Важно подчеркнуть, что последовательность (1) является случайным (недетерминированным) временным рядом. Поэтому его будущие значения могут быть описаны только с помощью статистических распределений.

Для построения стохастической модели временного ряда (1) для прогнозирования и регулирования качественных показателей рудопотока представляется целесообразным воспользоваться параметрической моделью, называемой процессом авторегрессии-проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) порядка (p, d, q)

$$\varphi(B)c_t = \theta(B)a_t, \quad (2)$$

где $\varphi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ - оператор авторегрессии порядка p ; $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ - оператор скользящего среднего порядка q ; $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ - числовые параметры, оцениваемые по статистическим данным; B - оператор сдвига назад, определяемый как $Bc_t = c_{t-1}$; a_t - последовательность независимых импульсов, т.е. случайных величин, с нормальным распределением, которое имеет нулевое среднее и дисперсию σ_a^2 («белый шум»).

На практике число параметров, которое необходимо оценить по статистическим данным, должно быть минимальным, что составляет принцип экономии. Таким образом, модель временного ряда должна быть не только адекватна, но и экономна.

На рис. 1 показаны ежемесячные усредненные значения содержания железа магнитного в рудо-

потоке на входе ОФ ПАО «Полтавский ГОК» в течение одного года, представленные в виде временного ряда. Визуальный анализ временного ряда позволяет сделать вывод о его нестационарности. Этот ряд не имеет фиксированного среднего значения, около которого происходят его колебания. Вместе с тем, такой ряд можно свести к возможности описания стационарной моделью, воспользовавшись тем, что d -я разность этого ряда является стационарным стохастическим рядом.

В табл. 1 приведены величины содержания железа магнитного в рудопотоке и первые разности

Таблица 1

Усредненные показатели железа магнитного в рудопотоке		
Месяцы	Среднемесячное содержание железа в руде, %	Первые разности содержания железа в руде, %
1	23,7	
2	23,6	-0,1
3	23,5	-0,1
4	23,2	-0,3
5	23	-0,2
6	23	0
7	23	0
8	23	0
9	23	0
10	23,1	0,1
11	23,2	0,1
12	23,2	0

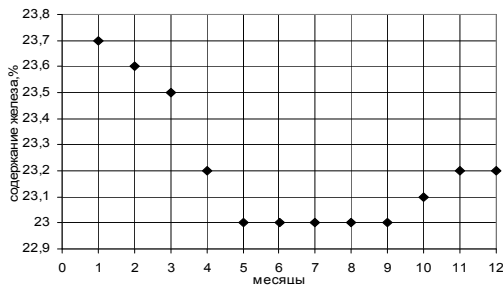


Рис. 1. Ежемесячные усредненные содержания железа в руде

Анализ величин первых разностей, рассчитываемых по формуле

$$z_t = \nabla c_t - c_{t-1}, \tag{3}$$

показывает, что получаемый временной ряд, приведенный в табл.1, можно считать стационарным.

Для нахождения структуры модели временного ряда, составленного из первых разностей (3), необходимо вычислить выборочные автокорреляции по формуле

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (z_t - \bar{z})(z_{t+k} - \bar{z})}{\sum_{t=1}^N (z_t - \bar{z})^2}. \tag{4}$$

В табл. 2 приведены результаты расчетов по формуле (4).

Таблица 2

Выборочные автокорреляции				
k	0	1	2	3
r_k	1	0,623	0,231	0,274

Анализ результатов расчетов величин выборочных автокорреляций позволяет сделать вывод, что в качестве структуры модели временного ряда (3) можно выбрать процесс авторегрессии второго порядка

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + a_t, \tag{5}$$

где ϕ_1, ϕ_2 - числовые параметры.

Для априорного нахождения параметров, входящих в (5), необходимо воспользоваться уравнениями Юла-Уокера, которые в рассматриваемом случае принимают вид

$$\begin{cases} \phi_1 + \phi_2 \cdot r_1 = r_1 \\ \phi_1 \cdot r_1 + \phi_2 = r_2 \end{cases}. \tag{6}$$

Решив систему уравнений относительно ϕ_1 и ϕ_2 , находим

$$\phi_1 = \frac{r_1(1-r_2)}{1-r_1^2}, \quad \phi_2 = \frac{r_2-r_1^2}{1-r_1^2}. \tag{7}$$

Однако для стационарности модели авторегрессии второго порядка необходимо, чтобы параметры ϕ_1 и ϕ_2 удовлетворяли неравенствам

$$\phi_2 + \phi_1 < 1; \quad \phi_2 - \phi_1 < 1; \quad -1 < \phi_2 < 1. \tag{8}$$

Подставляя величины выборочных автокорреляций, представленные в табл. 2, в формулы (7), находим

$$\phi_1 = 0,776, \quad \phi_2 = -0,251. \tag{9}$$

Величины ϕ_1 и ϕ_2 , приведенные в (9), удовлетворяют условию стационарности синтезируе-

мой модели (8).

Подставляя параметры ϕ_1 и ϕ_2 в уравнение авторегрессии второго порядка (5), получаем

$$z_t = 0,776 \cdot z_{t-1} - 0,251 \cdot z_{t-2} + a_t \quad (10)$$

Подставляя (3) в уравнение (10), окончательно получаем уравнение, которое моделирует временной ряд, представленный в табл. 1

$$c_t(1) = 1,776c_{t-1} - 1,026c_{t-2} + 0,251c_{t-3} + a_t. \quad (11)$$

Для уточнения найденных параметров модели временного ряда необходимо воспользоваться методом наименьших квадратов. Для этого составляется функция, представляющая собой сумму квадратов отклонений

$$\Phi(b_1, b_2, b_3) = \sum_{t=4}^N a_t^2 = \sum_{t=4}^N (c_t - b_1 c_{t-1} - b_2 c_{t-2} - b_3 c_{t-3})^2, \quad (12)$$

где b_1, b_2, b_3 - неизвестные параметры.

Поскольку неизвестные параметры входят в уравнение линейно, то минимизация функции (12) приводит к системе трех линейных алгебраических уравнений относительно искомым параметров, b_1, b_2, b_3

$$\begin{cases} b_1 \sum_{t=4}^N c_{t-1}^2 + b_2 \sum_{t=4}^N c_{t-2} c_{t-1} + b_3 \sum_{t=4}^N c_{t-3} c_{t-1} = \sum_{t=4}^N c_t c_{t-1} \\ b_1 \sum_{t=4}^N c_{t-1} c_{t-2} + b_2 \sum_{t=4}^N c_{t-2}^2 + b_3 \sum_{t=4}^N c_{t-3} c_{t-2} = \sum_{t=4}^N c_t c_{t-2} \\ b_1 \sum_{t=4}^N c_{t-1} c_{t-3} + b_2 \sum_{t=4}^N c_{t-3} c_{t-2} + b_3 \sum_{t=4}^N c_{t-3}^2 = \sum_{t=4}^N c_t c_{t-3} \end{cases} \quad (13)$$

Подставляя величины содержаний, взятые из табл. 1, в систему линейных уравнений (13) и решая ее, находим

$$b_1 = 1,732, \quad b_2 = -0,972, \quad b_3 = 0,241. \quad (14)$$

Подставляя результаты в уравнение, получим модель временного ряда, практически совпадающую с найденной при априорной настройке

$$c_t = 1,732 \cdot c_{t-1} - 0,972 \cdot c_{t-2} + 0,241 \cdot c_{t-3}. \quad (15)$$

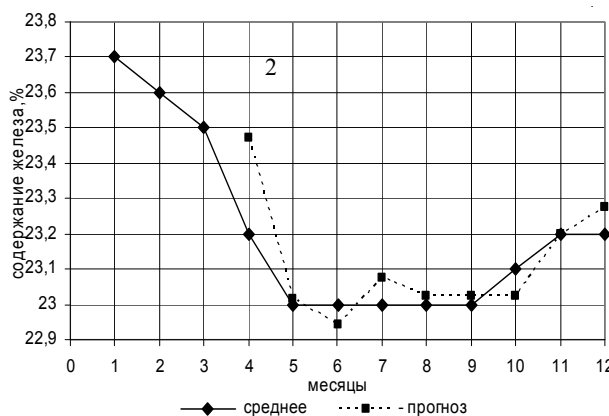


Рис. 2. Ежемесячные усредненные значения содержания железа магнитного в руде на входе ОФ ПАО «Полтавский ГОК» и прогнозируемые содержания железа

На рис. 2 представлены графики среднемесячных содержаний магнитного железа в руде, поступающей на ОФ ПАО «Полтавский ГОК», и прогнозируемых на один месяц вперед по формуле

$$\hat{c}_t(1) = 1,732c_t - 0,972c_{t-1} + 0,241c_{t-2} \quad (16)$$

Выводы. Модель динамической стабилизации колебаний качества в рудопотоке предназначена для сглаживания отклонений величин текущих значений содержания полезного компонента от заданных.

Анализ приведенных графиков показывает достаточно хорошую сходимость реальных и моделируемых величин содержания железа в руде на входе ОФ.

Модель динамической стабилизации колебаний качества в рудопотоке позволяет прогнозировать величину содержания железа в руде на входе ОФ на месяц вперед.

Список литературы

1. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Азарян В.А., Колосов В.А. Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность / Днепропетровск, 2012. - №5. - С. 1-4.*
2. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров / Учебник для вузов - М.: Недра, 1991. - 239 с.
3. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс (МДСРК) Доклад. Материалы 9 Конгресса обогатителей стран СНГ. г. Москва, 26.02 – 01.03.2013 г. с. 47.
4. Бабий Е.В., Синенко М.А. О качестве рудного потока при технологии предобогащения руды в карьере / *Вісник КТУ: Кривий Ріг. 2010 р.*
5. Азарян А.А. Разработка методов и средств физико-технического контроля и управления качеством руд чер-

ных металлов при добыче и переработке. Дисс. докт техн. наук. - Киев, 1993.

6. **Дрига В.В.** Исследование и классификация факторов, влияющих на геофизический мониторинг массовой доли магнетита в горной массе / **В.В.Дрига** // Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг, 2006. – Вип.14. – С.150-153.

7. **Азарян В.А.** Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины» - материалы 6 международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», Варна, 4-10 июня 2010 г.

8. **Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д.** Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2001 – 201 с.

9. **Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Максимов И.И.** Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / *Металлургическая и горная промышленность.* – 1982. - №2. - С. 64-65.

10. **Азарян В.А., Трачук А. А.** Обоснование геометрических и технологических параметров системы оперативного контроля качества исходной руды и продуктов обогащения // *Материалы 3-ой международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании».*-Варна 2007 Т.1.-с.487-491.

11. **Азарян В.А.** Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГО-Ков Украины. Сборник трудов КТУ, Кривой Рог, 2009 г.

12. **Жеребцов А.С., Троп А.Е., Зобнин Б.Б.** К измерению содержания магнетита в потоке руды. – Изв. вузов. Горный журнал, 1974. – №7.

13. Система автоматического контроля качества железорудного сырья в конвейерных потоках (СКРП), Интернет-сайт ООО ИПП «Уралрудоавтоматика». <http://uralrudoavtomatika.ru/>

14. **Белявский Ю.В., Старцев Н.В.** Индуктивный датчик с равномерным магнитным полем. – Изв. вузов. Горный журнал, 1971. – №4.

15. **Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Перепелицын А.И.** Система диспетчеризации "КАРЬЕР": от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере. "Горная промышленность" №4 - 2004

16. **Федоров М.Ю.** Основные технические и конструктивные принципы ренгенометрических сепараторов РАДОС» *Материалы 3 международной научно-технической конференции «Рентгенометрическая сепарация минерального сырья и техногенных отходов».* Г. Екатеринбург. 2007. с.70-79

17. **Федосеев В.А.** Экономика обогащения железных руд. Изд-во «Наука», Ленингр. От., 1-112

18. **Бастан П.П.** Усреднение руд как эффективное средство использования недр. В сб.: *Вопросы рудничной геологии.* - Белгород: ВЮГЕМ. -1970. -С. 14-16.

19. **Баранов А.Н., Марков А.П., Смирнов А.А., Тузов Ю.В.** Оперативный элементарный анализ металлосо-держающих природных и техногенных материалов. Электронное научное издание «ГЕОразрез»[http:// georazrez.unidubna.ru](http://georazrez.unidubna.ru)

20. **Галиев С.Ж., Бояндинова А.А., Астраханцев В.А., Жусупов К.К.** Структура и организация информационного обеспечения автоматизированной системы диспетчеризации работы экскаваторно-автомобильного комплекса «АДИС-Авто» // *Научно-техническое обеспечение горного производства: Сб. научн. тр. ИГД им. Д.А. Кунаева.* Т. 72. Алматы, 2006. С. 138–143.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.14

УДК 528.8.042:622.2

В.Д. СИДОРЕНКО, д-р. техн. наук, проф., М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,
О.Л. ТОПЧІЙ, М.П. СЕРГЄЄВА, Криворізький національний університет,
В.Я. КОВТУН, НВП «УКРКОВІД», ДП «УКРГЕОДЕЗМАРК ПАТ КИЇВМЕТРОБУД»,
корпорація УКРМЕТРОТУНЕЛЬБУД,
Ю.Л. СЕРЕБРЯНИЙ, С.П. ВОЛЧКО, канд. техн. наук, НВФ «ДОКА»

КОМПЛЕКСНІ ПРОГРАМИ КАМЕРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО 3D-СКАНУВАННЯ

Розглянуто особливості камеральної обробки наземного лазерного 3D-сканування, які базуються на створенні комплексних програмних продуктів, що дозволяють одночасно вирішувати завдання управління лазерним сканером та обробкою отриманих результатів в системі автоматизованого проектування.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Програмне забезпечення камеральної обробки польових вимірювань базується на створенні комплексних програмних продуктів, що дозволяють одночасно вирішувати завдання управління наземним лазерним сканером, обробки отриманих результатів, що і включають функції систем автоматизованого проектування, наприклад: порівняння реальної моделі із проектною і виведення графічної інформації про наявні розбіжності; редагування векторної тривимірної моделі; створення моде-