Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т. ХУШ, вып. 1, 1975 г.

ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСРЕДНИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е.И.Азбель

Обеспечение стабильных характеристик качественного состава минерального сырья, поступающего на переработку, является одним из важных направлений технического прогресса в горной промышленности. Колебания характеристик качественного состава создают значительные трудности при переработке руд и, в частности, при выборе оптимальных режимов работы обогатительных агрегатов.

Неоднородность качественного состава потока перерабатываемой руды зависит от изменчивости качества руд в забоях, особенностей формирования общего потока руды из отдельных потоков, результатов действия различных усреднительных процессов, а также промежуточных технологических процессов переработки (дробления, сортировки и т.п.). Однако различные задачи, решаемые при управлении качеством руд, непосредственно связаны с работой усреднительных сооружений, занимающих центральное место в процессе управления качеством.

Строительство и эксплуатация усреднительных сооружений вызывают большие затраты, причем эти затраты определяются прежде всего емкостью сооружений. Так, например, на руднике "Джанатас" комбината "Каратау" планируемые капитальные затраты на создание складов дробильно-сортировочных фабрик и прикарьерных усреднительных складов составляют около 9 млн. руб (по данным институтов ГИГХС и Ленниигипрохим). Сооружение усреднительного бункера на угольной и обогатительной фабрике емкостью 12-16 тыс.т обходится примерно в 5 млн западногерманских марок [2]. Поэтому для проектировщиков и исследователей необходимо иметь методики, которые, достаточно полно учитывая закономерности работы усреднительных сооружений, позволяют оценить их усреднительную способность, определить их емкость и в конечном счете – экономическую эффективность усреднительных мероприятий.

Одной из главных причин, препятствующих обоснованному решению

вопросов усреднения минерального сырья, является отсутствие четкого понимания закономерностей протекания усреднительных процессов. В результате необоснованного применения тех или иных методик оценки эффективности схем усреднения могут отличаться в несколько раз.

При исследовании усреднительных процессов применяются аналитические и эвристические, дискретные и непрерывные, случайные и детерминированные методы или их комбинации. Рассмотрим особенности основных методов, применяемых для оценки эффективности усреднительных процессов.

Изменения характеристик качественного состава носят случайный характер, поэтому эффект усреднения принято оценивать с помощью коэффициента усреднения

$$K = \frac{V_2}{V_1},$$

где V_2 и V_1 – коэффициенты вариаций рассматриваемого показателя X качественного состава до и после усреднения,

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{X}_i}; \qquad i = 1,2,$$

σ_i – среднеквадратические отклонения; $\bar{X}_i$ – средние значения X.

Такая оценка позволяет сравнить относительную изменчивость качественного состава при различных средних значениях. При равенстве средних до и после усреднения $K = \sigma_2/\sigma_1$.

Иногда для оценки эффективности усреднения пользуются показателем $\eta = 1 - \sigma_2/\sigma_1$, который принципиально не отличается от предыдущего, однако дает существенно нелинейную оценку.

Часто процессы в различных усреднительных устройствах рассматриваются как результат усреднения нескольких проб, представляющих собой независимые выборки из одной и той же генеральной совокупности. В результате уменьшение вариации колебаний компонентов качественного состава на выходе усреднительных устройств предполагается пропорциональным $1/\sqrt{n}$, где n – число усредняемых проб [5]. Однако при таком методе не учитывается степень стохастической связи качественного состава отдельных усредняемых порций минерального сырья.

В основу исследований усреднительных процессов может быть положен график, характеризующий во времени колебания качественного состава минерального сырья, поступающего на усреднение для конкретных случаев. Однако из-за привязанности к конкретным примерам получаемые результаты лишены общности [2].

Для расчетов усреднительных процессов могут быть использованы частотные методы теории линейных систем автоматического регулирования. Применение таких методов основывается на представлении усреднительного устройства в виде некоторой системы, описываемой линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами. Представляя возмущение в виде дискретного ряда Фурье либо в форме интеграла Фурье и применяя принцип суперпозиции, можно исследовать рассматриваемую систему и определить ее реакцию на разные виды возмущений. Как

правило, подобные исследования для усреднительных процессов предполагают моногармонический характер изменения качественного состава руд на входе усреднительного устройства [4, 6].

Для исследования усреднительных процессов более перспективно использование методов теории случайных функций. Эти методы позволяют весьма просто исследовать процессы усреднения как для линейных систем, так и для процессов усреднения в более общих случаях [1, 3].

При расчете усреднительных процессов с помощью данной методики в общем случае существенно использование корреляционной функции $K_x(\tau)$ или спектральной плотности $S_x(\omega)$ случайных процессов изменения качественного состава исходного потока руды. В частном случае при наличии дискретных исходных данных об изменчивости качества потока руды следует рассматривать корреляционную функцию $K_x(i)$ случайной последовательности содержаний компонента X в отдельных усредняемых порциях руды:

$$K_x(i) = \frac{1}{n-i-1} \sum_{j=1}^{n-i} (X_j - \bar{X})(X_{j+i} - \bar{X}),$$

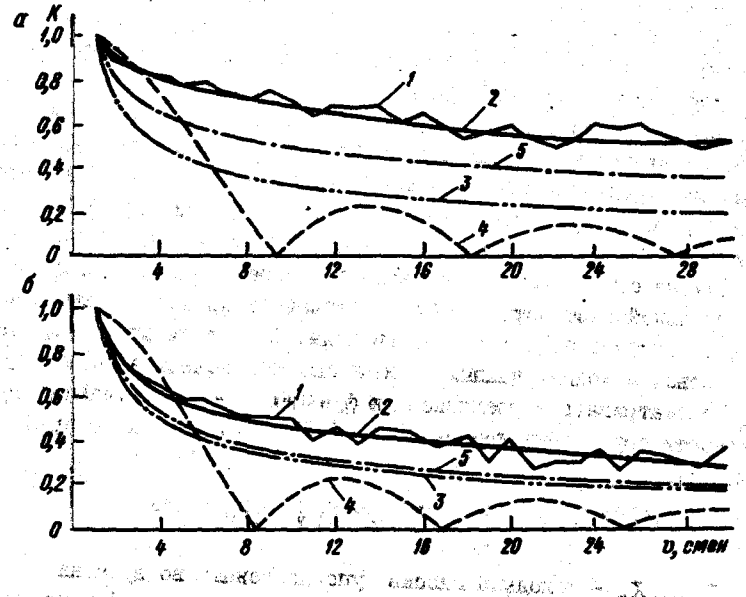
где $X_1, X_2, \ldots, X_n$ – исходный массив упорядоченных во времени значений содержания компонента X качественного состава; i – переменная, учитывающая удаленность порций руды, между которыми устанавливается корреляционная связь; n – объем массива; $\bar{X}$ – среднее значение компонента X в массиве.

В некоторых исследованиях учитываются значения корреляционной функции $K_x(i)$ лишь для смежных проб усредняемого материала. Поэтому получаемые при этом аналитические выражения для определения эффективности усреднения в функции количества усредняемых проб и значения $K_x(1)$ следует рассматривать как полуэмпирические.

Рассмотрим в качестве примера применение различных методик для оценки работы усреднительных устройств, характеризующихся интегральными преобразованиями качественного состава исходного потока руды. Такие преобразования являются предельными и описывают работу усреднительного штабеля, бункера, а также ряда других устройств и позволяют весьма просто оценивать эффективность усреднительных процессов независимо от количества слоев или столбцов усредняемого материала. Будем оценивать работу таких сооружений с точки зрения стабилизации колебаний средних значений содержаний компонентов качественного состава в объемах руды, равных объему сооружения.

В общем случае усреднительные характеристики сооружения следует рассчитывать по нескольким компонентам качественного состава и выбирать емкость сооружения v, обеспечивающую требуемые показатели усреднения для этих компонентов.

В качестве исходных данных используем результаты сменных анализов содержаний P_2O_5, MgO, CO_2 и нерастворимого остатка $SiO_2+Al_2O_3$ в потоке руды, поступающем на обогатительную фабрику рудника "Молодежный" комбината "Каратау" в 1971 г. Указанные компоненты качественного состава являются наиболее существенными для условий данного рудника.



Зависимость коэффициента усреднения от емкости усреднительного сооружения на обогатительной фабрике рудника "Молодежный" при изменении содержания в руде MgO (а) и P_2O_5 (б)
Цифры 1–5 соответствуют номерам рассматриваемых методик

Будем сравнивать рассмотренные выше методики (см. рисунок), основанные: 1) на непосредственном моделировании зависимостей усреднительной способности усреднительного сооружения от его объема (методика 1); 2) на определении корреляционной функции исходного потока руды (методика 2 – предлагаемая); 3) на представлении отдельных проб как независимых случайных величин, взятых из одной и той же генеральной совокупности (методика 3); 4) на описании изменчивости качественного состава исходного потока руды с помощью эквивалентной гармоники; частота эквивалентной гармоники находится по числу пересечений с графиком колебаний качественного состава потока руды соответствующих средних значений (методика 4); 5) на учете значений корреляционной функции для смежных проб (методика 5).

Анализ указанных закономерностей позволяет сделать следующие выводы.

1. За исключением методики 3 при одинаковых емкостях усреднительных сооружений коэффициенты усреднения имеют различные значения для различных компонентов качественного состава.

2. Наиболее близкие результаты получаются по методикам 1 и 2. Однако методика 2 оказывается предпочтительней, поскольку она дает монотонно убывающую оценку коэффициента усреднения с увеличением объема сооружения. Это объясняется тем, что применение методики 2 позво-

Проверка корректности различных методик по содержанию в руде P_2O_5 и MgO [x]

Объем штабеля	Методика 1		Методика 2		Методика 3		Методика 4		Методика 5	
	сменные пробы	суточные пробы	сменные пробы	суточные пробы	сменные пробы	суточные пробы	сменные пробы	суточные пробы	сменные пробы	суточные пробы
1	1,000 1,000	-	1,000 1,000	-	1,000 1,000	-	1,000 1,000	-	1,000 1,000	-
2	0,791 0,800	-	0,784 0,899	-	0,707 0,707	-	0,881 0,942	-	0,720 0,806	-
3	0,704 0,853	0,704 0,853	0,691 0,843	0,704 0,853	0,577 0,577	0,704 0,853	0,823 0,851	0,704 0,853	0,594 0,711	0,704 0,853
4	0,653 0,820	-	0,682 0,806	-	0,500 0,5002	-	0,684 0,732	-	0,618 0,660	-
5	0,594 0,781	-	0,588 0,776	-	0,477 0,477	-	0,825 0,694	-	0,487 0,607	-
6	0,585 0,783	0,585 0,783	0,555 0,761	0,557 0,765	0,406 0,406	0,496 0,603	0,359 0,444	0,621 0,789	0,428 0,573	0,609 0,674
7	0,527 0,741	-	0,527 0,731	-	0,378 0,378	-	0,198 0,294	-	0,398 0,547	-
8	0,507 0,709	-	0,504 0,713	-	0,353 0,353	-	0,084 0,182	-	0,374 0,525	-
9	0,497 0,744	0,497 0,744	0,486 0,696	0,483 0,697	0,333 0,333	0,406 0,492	0,065 0,026	0,496 0,618	0,353 0,506	0,421 0,587
10	0,486 0,696	-	0,486 0,679	-	0,316 0,316	-	0,152 0,077	-	0,336 0,489	-
11	0,414 0,634	-	0,453 0,663	-	0,301 0,301	-	0,205 0,154	-	0,321 0,475	-
12	0,456 0,684	0,456 0,684	0,439 0,648	0,436 0,649	0,289 0,289	0,352 0,426	0,222 0,201	0,446 0,447	0,308 0,463	0,368 0,533
13	0,385 0,672	-	0,428 0,633	-	0,277 0,277	-	0,209 0,220	-	0,297 0,451	-
14	0,483 0,673	-	0,418 0,619	-	0,267 0,267	-	0,171 0,213	-	0,286 0,441	-
15	0,452 0,600	0,452 0,600	0,410 0,606	0,410 0,608	0,258 0,258	0,315 0,381	0,116 0,184	0,189 0,226	0,277 0,432	0,331 0,494

[x] В числителе - коэффициент усреднения по содержанию в руде P_2O_5, в знаменателе - по содержанию MgO.

ляет статистически аппроксимировать значения коэффициентов усреднения. Расчеты же, выполненные по методике 1, дают нестабильные результаты, особенно с увеличением количества усредняемых порций в штабеле. Относительная погрешность методики 1 может достигать 20–30%.

3. По методикам 3 и 4 получаются чрезвычайно завышенные показатели стабильности качественного состава руд (средние относительные погрешности достигают 60–70%), причем методика 4 дает более грубую оценку.

4. Методика 5 в зависимости от характера убывания корреляционной функции исходного потока руды может давать как завышенные, так и заниженные оценки коэффициента усреднения. В случае медленного затухания корреляционной функции $K_x(i)$ погрешность от применения методики 5 может составлять более 50%; при быстром затухании корреляционной функции эта погрешность уменьшается.

Полученные результаты можно обосновать аналитически, используя некоторые предельные соотношения для рассматриваемых коэффициентов усреднения.

Методики оценки эффективности усреднительных сооружений должны быть корректными к операции объединения проб, т.е. используемый математический аппарат должен давать одинаковые и стабильные результаты независимо от размеров исходных проб. Можно показать аналитически, что в этом смысле корректной является только методика 2. В таблице представлены расчетные значения (в относительных единицах) коэффициентов усреднения, полученных по методикам 1–5 для случаев, когда исходными данными служат сменные и суточные результаты опробований. Корректность методики 2 очевидна.

Таким образом, при оценке эффективности усреднительных мероприятий в общем случае наиболее приемлемой оказывается предлагаемая методика, основанная на использовании аппарата теории случайных функций. В результате необоснованного применения других методик расчетные оценки эффективности усреднительных мероприятий могут резко отличаться от практических.

Литература

1. Азбель Е.И. Математическая модель процесса усреднения руды при ступенчатой загрузке бункера. – В сб.: Системы и средства автоматического управления. Киев, изд. Ин-та автоматики, 1970.

2. Лемке К. Техника, себестоимость и экономическая эффективность усреднения угля. – "Глюкауф", 1962, № 14.

3. Школьников А.Д., Азбель Е.И. Усреднение качественного состава руд на бункерах обогатительных фабрик. – "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых". Новосибирск, 1970, № 5.

4. Kelly I.–Rev. Ind.Min., v.44, N 5, 1962.

5. Larsen E.P. – Mining enginiering, v.14, N 1, 1962.

6. Pasquet M., Matraski A. – Rev.Ind.Min., v.45, N 9, 1963.