Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. 102, 1984

УДК 622.271:681.3.013-52

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСРЕДНИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УГЛЯ

А.Г.ПРОТОСЕНЯ, В.А.СЕДИН,
Л.М.СОСИНСКИЙ, С.А.СИНИШИН

Проектируемый для разреза «Березовский-I" Канско-Ачинского угольного бассейна угольный склад состоит из 6-10 бункеров емкостью по 12000 т каждый. Основной его функцией является обеспечение непрерывности подачи угля потребителям. Однако, этот же склад можно использовать для сглаживания колебаний качественных характеристик в выходном потоке угля. Ясно, что наиболее сложно организовать усреднение в случае малого числа забоев и ограниченного объема бункерного склада. В соответствии с этим целесообразно рассмотреть задачи оперативного усреднения для первой очереди строительства разреза. В соответствии с этим опишем схему транспортировки угля к потребителям, принятую в проекте первой очереди.

Уголь добывается двумя роторными экскаваторами, затем системой конвейеров подается на склад, где поток от каждого экскаватора может направляться на один из четырех бункеров. Всего бункеров шесть, так что два бункера доступны потокам от обоих экскаваторов. Из бункеров уголь выгружается на конвейеры, доставляющие его потребителям, основным из которых является Березовская ГРЭС. Наиболее важной качественной характеристикой угля, влияющей на работу ГРЭС, является его зольность, рассмотрением которой мы и ограничимся.

Согласно данным геологического опробования, зольность пласта «Березовский", который подлежит открытой разработке, колеблется от 4 до 10 %. В связи с отсутствием уверенности в стабильности золы углей, поступающих для сжигания, в первоочередной установке Березовской ГРЭС приняты котельные агрегаты с сухим шлакоудалением. Использование сухого шлакоудаления значительно увеличивает габариты котельного агретата, например, его высота увеличивается примерно на 40 м. Кроме того, поступление угля с разнопеременной золой приводит к длительным аварийным остановкам котлоагрегатов по условиям их зашлаковки.

При жидком шлакоудалении зольность угля должна находиться в пределах 7-9 %. В связи со спецификой работы роторного экскаватора уголь из забоев поступает дискретными порциями, так называемыми «стружками", имеющими в пласте размеры около 8 х 60 х 8 м. Зольность каждой порции можно считать известной на основании плана ведения горных работ по добыче угля и карт зольности, построенных на основании геологических данных.

Нашей задачей является такое распределение порций между бункерами и такая организация транспортировки угля с бункерного склада, чтобы стабилизировать зольность в потоке угля, отгружаемого на ГРЭС. При использовании многоячеечного бункера наиболее эффективным способом усреднения является загрузка в каждую секцию бункера угля с определенными качественными характеристиками и одновременно выдача из всех секций в соответствии с заданным соотношением [2]. Оценки подтверждают высокую эффективность работы усреднительных устройств в дозировочно-смесительном режиме [1].

В соответствии со сказанным, зададимся целью по возможности сохранять постоянной среднюю величину зольности в каждом бункере, причем так, чтобы весь загружаемый туда уголь имел зольность возможно более близкую к средней. В этом случае можно приближенно считать, что зольность угля постоянна по объему каждого бункера. Отгрузку угля можно производить либо путем одновременной отгрузки из всех бункеров, либо, если этот способ трудно реализовать, путем циклического „опроса" бункеров. Этот метод, при наличии усреднительных устройств на ГРЭС, оказывается весьма эффективным [3, 4]. Здесь мы рассмотрим более общий случай, а именно, когда в течение каждого из заданных промежутков времени отгрузку на ГРЭС может осуществлять только часть бункеров. Это может быть вызвано, например, тем, что остальные бункеры к началу промежутка не загружены, отгружают уголь в транспортную сеть и т.д. Работу бункерного склада организуем так, чтобы при указанных ограничениях минимизировать отклонение зольности в выходном потоке от среднего уровня.

Перейдем к формальной постановке задач. Вначале рассмотрим задачу загрузки. Выделим некоторый период, например сутки, и положим число порций угля, поступающих на склад за этот период, равным n, а число бункеров – m. Пусть объемы и зольности указанных порций составляют соответственно q_j и a_j. Объемы и зольности угля, находящегося в бункерах к началу рассматриваемого периода, обозначим Q_i и A_i соответственно. Введем еще для каждого бункера величину R_i – некий, определяемый из производственных условий, максимальный объем, который может быть загружен в этот бункер в течение рассматриваемого периода. При этом учитывается возможность разгрузки бункера, так что R_i может превосходить его емкость. Требуется определить для каждого i = I, ..., m и j = I, ..., n объем угля из j-й порции, засыпаемый в бункер i. Этот объем обозначим x_{ij}. Величины x_{ij} должны удовлетворить следующим ограничивающим условиям:

I. $\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = a_j$ (j = I, ..., n), т.е. каждая порция полностью расписывается по бункерам;

2. $\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leqslant R_i$ (i = I, ..., m) – это ограничение на объем угля, проходящего через бункер i.

Далее, поскольку всякая порция может направляться лишь в некоторые из бункеров, следует добавить ограничение $x_{ij} = 0$ для тех пар (i,j), для которых i-й бункер недоступен j-й порции. Это приводит к сокращению числа неизвестных. Наконец, естественно, следует считать $x_{ij} \geqslant 0$ для всех i и j. Будем искать значения неизвестных, минимизирующие среднюю взвешенную

дисперсию зольности, которая с точностью до постоянного множителя запишется в виде

$$D=\sum_{i=1}^{m}\left(\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\left(a_j-\tilde{A}_i\right)^2+Q_i\left(A_i-\tilde{A}_i\right)^2\right), \qquad (1)$$

где $\tilde{A}_i$ – средняя зольность всего угля, проходящего через i-й бункер в течение рассматриваемого периода,

$$\tilde{A}_i=\left(\sum_{j=1}^{n}x_{ij}a_j+Q_iA_i\right)\Big/\left(\sum_{j=1}^{n}x_{ij}+Q_i\right). \qquad (2)$$

Таким образом, целевая функция нелинейна относительно x_{ij} и можно доказать, что она невыпукла. Решение задачи в сформулированном виде сопряжено со значительными трудностями. Для того чтобы упростить задачу, можно в критерии (I) заменить $\tilde{A}_i$ на A_i. При этом целевая функция становится линейной:

$$D=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\left(a_j-A_i\right)^2, \qquad (3)$$

а задача ее минимизации при указанных ограничениях – задачей линейного программирования. Хотя функция (3) уже не является дисперсией зольности, она учитывает меру квадратического отклонения зольности угля, засыпаемого в бункер, от зольности содержимого бункера к началу рассматриваемого периода. Поэтому минимизация функции (3) при заданных ограничениях отвечает нашей цели – сохранению стабильности зольности в каждом бункере.

Для численной проверки описанного метода решения задачи была составлена программа для ЭВМ. Входные данные выбирались с использованием результатов предварительной разведки поля Березовского разреза № I. В качестве периода планирования были взяты сутки. Считалось, что работает шесть бункеров и от двух экскаваторов поступает I6 порций угля. В соответствии с проектируемой схемой бункерного склада предполагалось, что уголь от первого экскаватора (порции с нечетными номерами) может загружаться в бункеры I–4, а от второго (четные порции) – в бункеры 3–6. В табл.I приводится пример численного решения задачи. Объемы всех I6 порций были взяты равными 5000 т со следующими зольностями, %: 4,5; 8,7; 5,0; 8,4; 5,4; 5,8; 4,4; 8,9; 5,I; 8,6; 5,6; 6,0; 4,5; 9,I; 5,0; 8,6.

Таблица 1

Результаты расчета загрузки системы бункеров

Номер бункера	Начальная зольность A_i, %	Ограничение на объеме K_i, тыс.т	Номера порций	Объем порций, тыс.т	Результирующая средняя зольность, %
1	4,7	20	1, 3, 7, 13	5, 5, 5, 5	4,6
2	5,3	18	5, 9, 15, 11	5, 5, 5, 3	5,2
3	6,0	22	6, 12, 11	5, 5, 2	5,9
4	8,8	17	2, 8, 14, 10	5, 5, 5, 2	8,9
5	6,8	–	–	–	–
6	7,4	18	4, 16, 10	5, 5, 3	

Как видно из табл.I, средняя зольность угля, проходящего через каждый бункер, незначительно отличается от начальной зольности в нем, что позволяет непрерывно планировать загрузку с незначительной коррекцией средних зольностей в начале каждых суток. К сожалению, не располагая представительными данными об изменчивости зольности на небольших участках, нельзя оценить фактическую эффективность данного метода.

Рассмотрим теперь задачу разгрузки бункеров. Снова выделим некоторый период и введем следующие обозначения: Q_i – объем угля, который будет выгружаться из i-го бункера, $i = 1, 2, \ldots, m$ (Q_i принимается с учетом загрузки и может превышать емкость бункера); A_i – средняя зольность в этом объеме (в соответствии с описанным методом планирования загрузки мы можем приближенно считать, что зольность во всем объеме незначительно отличается от этой средней).

Тогда средняя зольность всего угля, выгружаемого за рассматриваемый период,

$$A = \sum_{i=1}^{m} Q_i A_i \Big/ \sum_{i=1}^{m} Q_i . \qquad (4)$$

Разобьем весь период на n промежутков. Это могут быть смены или четырехчасовые интервалы и т.п. Пусть общая отгрузка угля должна составить S_j за j-й промежуток ($j = 1, \ldots, n$). Для простоты считаем Березовскую ГРЭС единственным потребителем. Обозначим объем угля, отгружаемый i-м бункером в течение j-го промежутка, x_{ij}. Тогда средняя зольность всего угля, отгружаемого за j-й промежуток,

$$\bar{A}_j = \frac{1}{S_j} \sum_{i=1}^{m} x_{ij} A_i .$$

Будем искать объем x_{ij} так, чтобы минимизировать наибольшее отклонение величин A_j от общей средней зольности A:

$$\max_j \left| \bar{A}_j - A \right| \longrightarrow \min .$$

Величины x_{ij} должны удовлетворять следующим условиям

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = S_j ; \quad j = 1, \ldots, n ; \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = Q ; \quad i = 1, \ldots, m . \qquad (5)$$

Смысл этих условий ясен из определения величин S_j и Q_i, и, естественно, $x_{ij} \geqslant 0$. Кроме того, следует некоторые из x_{ij} положить равными нулю, когда известно, что i-й бункер за промежуток j не работает на разгрузку. Сформулированная задача сводится к задаче линейного программирования следующим стандартным приемом. Вводится еще одна переменная $y \geqslant 0$ и требуется минимизировать y при ограничениях (5), к которым добавляется следующее:

$$\left| \frac{1}{S_j} \sum_{i=1}^{m} A_i x_{ij} - A \right| \leqslant y , \quad j = 1, 2, \ldots, n , \qquad (6)$$

т.е. после раскрытия абсолютной величины добавляется еще $2n$ неравенств, линейных относительно x_{ij} и y. Задача минимизации y при ограничениях (5)

и (6) есть задача линейного программирования. Эта задача также решалась на ЭВМ с помощью стандартных методов. Ниже приводится один из примеров такого решения.

В качестве периода планирования были взяты сутки, которые делились на шесть четырехчасовых промежутков. Таким образом, $m = 6$ и $n = 6$. Данные об объеме и зольности:

Объем, тыс.т	11,0	8,8	13,0	10,2	16,4	12,6
Зольность, %	5,7	4,9	6,1	9,8	10,1	8,0

Средняя зольность, таким образом, 7,7 %.

Отгружаемый объем за каждый промежуток был взят равным 12000 т. Работа бункеров на разгрузку по промежуткам проводилась по следующему графику:

Номер промежутка	1	2	3	4	5	6
Номер бункера	1, 3, 5, 6	1, 2, 3, 4	1, 2, 4	2, 3 4, 6	3, 4, 5	1, 3, 5, 6

Результаты вычислений с этими входными данными приведены в табл.2.

Таблица 2

Результаты расчета разгрузки системы бункеров

Номер промежутка	Объем отгружаемого угля по бункерам, т						Средняя зольность по промежутку, %
	1	2	3	4	5	6	
1	-	-	5488	-	6512	-	8,3
2	8050	-	-	3950	-	-	7,0
3	2950	4368	-	4782	-	-	7,0
4	-	4532	-	1468	-	6000	7,0
5	-	-	5488	-	6512	-	8,3
6	-	-	2023	-	3377	6600	8,3

Итак, при разгрузке, спланированной указанным способом, удается достичь весьма незначительных и притом равномерных колебаний зольности (в данном примере $\pm 0,7$ %) вокруг среднего значения. При разбросе зольности угля от 4,9 до 10,1 % (исходная в пласте 4–10 %) удается в системе бункеров достичь на выходе зольности 7–9 %, необходимой для жидкого шлакоудаления. Это позволяет судить об эффективности усреднения по предлагаемому методу.

Приведенные примеры решения задач, так же как и другие аналогичные расчеты, показывают эффективность применения описанных методов составле-

ния планов загрузки и разгрузки при разработке общего алгоритма оперативного управления работой усреднительного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азбель Е.И. Об особенности работы усреднительных устройств периодического и непрерывного действия. – В кн.: Совершенствование технологии добычи и переработки руд с целью повышения комплексного использования сырья и охраны окружающей среды на предприятиях цветной металлургии края. Красноярск, изд. Сибцветметниипроект, 1977.

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

3. Школьников А.Д., Азбель Е.И., Сосинский Л.М. Об эффективности управления процессами усреднения. – Труды Сибцветметниипроекта, 1973, вып. 6.

4. Школьников А.Д., Азбель Е.И., Сосинский Л.М. Об эффективности алгоритмов оперативного управления качеством руды, поступающей на переработку. – В кн.: Управление горным производством. Межвуз. сборник, вып. 1. Свердловск, изд. Свердловск. горн. ин-та, 1974.