

**Я.Г. Куваев, канд. техн. наук**

**Т.В. Куваева**

(Украина, Днепропетровск, Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет")

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ КРУПНОГО КЛАССА В ПОТОКЕ РУДЫ НА ВЫХОДЕ ДРОБИЛЬНОЙ ФАБРИКИ**

Для горно-обогатительных комбинатов (ГОК) Криворожского бассейна удельный расход электроэнергии на измельчение в первой стадии почти на порядок выше, чем на дробление (табл. 1) [1]. Снижение качества работы дробильной фабрики характеризуется увеличением крупности руды на ее выходе. Это сопровождается снижением удельных затрат на дробление руды. Однако, снижение удельного расхода энергии на каждый 1 кВт·ч/т в переделе дробление увеличивает расход энергии в 1-й стадии измельчения на 7 – 12 кВт·ч/т. Таким образом контроль качества работы дробильных фабрик позволяет снизить удельный расход электроэнергии на раскрытие полезного минерала за счет перераспределения энергозатрат на сокращение крупности руды с первой стадии измельчения на дробление.

Таблица 1.

### **Удельные затраты энергии на дробление и измельчение руды в 1-й стадии для ГОКов Криворожского бассейна**

| Горно-обогатительный комбинат | Индекс работы дробления Бонда, (кВт·ч/т)·мкм <sup>0,5</sup> | Степень дробления | Удельный расход электроэнергии E, кВт·ч/т | Производительность мельницы МШР-3600х4000 при измельчении до 65% класса - 0,074 мм, т/ч | Удельный расход электроэнергии при измельчении до 65% класса - 0,074 мм, кВт·ч/т | Отношение удельных расходов на измельчение к дроблению |
|-------------------------------|---|-------------------|---|---|--|--|
| СевГОК                        | 16,0  | 37,5              | 0,8234                                    | 113,0   | 7,4  | 8,99   |
| ЦГОК                          | 19,4  | 20,8              | 0,9705                                    | 120,0   | 7,0  | 7,21   |
| НкГОК                         | 21,5  | 32,0              | 1,1780                                    | 125,0   | 8,4  | 7,13   |
| ЮГОК                          | 23,5  | 28,0              | 1,2360                                    | 70,5  | 11,9   | 9,63   |
| ИнГОК                         | 24,1  | 35,2              | 1,2435                                    | 92,7  | 9,1  | 7,32   |

На большинстве комбинатов Криворожского бассейна дробление руды происходит в четыре стадии [1]. Качество работы дробильной фабрики в целом определяет содержание крупного класса в дробленной руде после стадии мелкого дробления. Содержание крупного класса в дробленной руде и ее грануломет-

рический состав полностью зависит от размера разгрузочных щелей дробилок мелкого дробления и состояния грохотов, которые стоят перед ними. Гранулометрический состав предыдущих стадий на эти факторы влияния никакого не оказывает. Он может оказывать влияние лишь в случае порыва грохота, который сортирует продукты среднего дробления.

По известным данным (табл. 2, 3) [1, 2] оценим изменение удельного расхода электроэнергии в первой стадии измельчения на сокращение крупности железной руды для ЮГОКа. Воспользуемся выражением для расчета удельной энергии, затрачиваемой на дробление или измельчение руды, учитывающей крупность исходного и конечного продуктов [1]:

$$E_{gк} = 0,1 \cdot W \cdot \ln \left( \frac{l_{1\max}}{l_{2\max}} \right), \quad (1)$$

где  $W$  – индекс работы дробления Бонда, оценивающий измельчаемость (или дробимость) материала энергетически;  $l_{1\max}$  и  $l_{2\max}$  – максимальные размеры частиц питания и продукта соответственно<sup>1</sup>.

Таблица 2.

**Гранулометрические характеристики продуктов мелкого дробления дробилки КМД 2200, ЮГОК**

| Ширина разгрузочной щели, мм | Размер ячейки сита, мм |      |      |      |                 |     |
|------------------------------|------------------------|------|------|------|-----------------|-----|
|                              | 0                      | 3    | 6    | 12   | 20 <sup>2</sup> | 25  |
| 6                            | 100                    | 75,3 | 62,0 | 36,9 | 8,0             | 2,7 |
| 8                            | 100                    | 80,9 | 70,5 | 44,0 | 13,8            | 5,5 |
| 10,5                         | 100                    | 81,6 | 70,7 | 48,7 | 18,5            | 8,9 |

Таблица 3.

**Гранулометрические характеристики продуктов I стадии измельчения РОФ-1 ЮГОКа**

| Продукт            | Выход классов крупности, мм |      |        |          |            |             |       |
|--------------------|-----------------------------|------|--------|----------|------------|-------------|-------|
|                    | +3                          | -3+1 | -1+0,5 | -0,5+0,1 | -0,1+0,074 | -0,074+0,05 | -0,05 |
| Разгрузка мельницы | 6,1                         | 11,8 | 15,3   | 32,8     | 6,2        | 5,0         | 22,8  |
| Пески              | 9,0                         | 18,0 | 22,1   | 35,2     | 4,4        | 3,6         | 7,7   |
| Слив               | –                           | 0,2  | 2,5    | 29,0     | 9,5        | 7,6         | 51,2  |

Индексы  $\gamma$  и  $K$  определяют, что в формуле отражен учет характеристик крупности для питания и продукта, а также тип закона разрушения руды. Для нашего случая оказался наиболее подходящим закон разрушения Кика-Кирпечова. Он наиболее точно отражает статическую и динамическую составляющие изменения удельных затрат электроэнергии на измельчение руды в

<sup>1</sup> Условной максимальной крупностью продукта считаем размер отверстий сита  $d_n$ , через которое просеивается 95% материала.

<sup>2</sup> Крупный класс, содержание которого контролируют технологи на выходе дробильной фабрики в потоке дробленой руды.

первой стадии в зависимости от изменения гранулометрического состава исходного питания [1].

На дробилках мелкого дробления типа КМД-2200 устанавливают разгрузочную щель шириной 6-8 мм, обеспечивающую заданное содержание крупного класса в дробленой руде на выходе дробильной фабрики до 14,2 % [1]. Из опыта эксплуатации известно, что за смену (8 часов) разгрузочная щель дробилки КМД-2200 увеличивается на 5-8 и более мм. Это зависит от абразивных свойств и крепости руды, а также от качества брони дробилок. На дробилках среднего дробления типа КСД-2200 устанавливают ширину разгрузочной щели от 28 до 30 мм. Ширина разгрузочной щели этих дробилок за 8 часов работы увеличивается точно также как и для дробилок КМД.

Таким образом, ширина щели 10,5 мм (последняя строка табл. 3) не самый худший вариант, при котором уже имеем увеличение содержания крупного класса в дробленой руде выше установленной нормы<sup>3</sup>. А значит, имеется увеличение удельного расхода электроэнергии на измельчение руды в первой стадии (табл. 4). Расчеты показывают, что увеличение содержания крупного класса в потоке руды на выходе дробильной фабрики ЮГОКа на 10% приводит к увеличению удельных затрат электроэнергии на измельчение руды в первой стадии на 0,7 кВт·ч/т.

Таблица 4

**Оценка удельного расхода электроэнергии в зависимости от ширины разгрузочной щели дробилки мелкого дробления КМД-2200, ЮГОК**

| Ширина разгрузочной щели КМД-2200, мм | Содержание крупного класса, % | $l_{1\max}$ , мм | $l_{2\max}$ , мм | $E_{гк}$ при измельчении до 58,8 % класса - 0,074 мм, кВт·ч/т |
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|---|
| 6                                     | 8,0                           | 21,5             | 0,45             | 9,09  |
| 8                                     | 13,8                          | 26,2             | 0,45             | 9,55  |
| 10,5                                  | 18,5                          | 29,1             | 0,45             | 9,79  |

При прочих равных условиях, за исключением индекса работы дробления Бонда, можно оценить увеличение удельных затрат электроэнергии на измельчение для остальных ГОКов Криворожского бассейна, воспользовавшись следующей пропорцией, полученной из выражения (1):

$$\frac{E_{гк ЮГОК}}{W_{ЮГОК}} = 0,1 \cdot \ln \left( \frac{l_{1\max}}{l_{2\max}} \right) = \frac{E_{гк НкГОК}}{W_{НкГОК}} = \frac{E_{гк СевГОК}}{W_{СевГОК}} = \frac{E_{гк ИнГОК}}{W_{ИнГОК}} = \frac{E_{гк ЦГОК}}{W_{ЦГОК}}. \quad (2)$$

Сейчас на комбинатах технологи определяют содержание крупного класса в дробленой руде методом ситового анализа каждые 4 часа. По его результатам операторы оборудования выполняют необходимые действия по коррекции гранулометрического состава дробленой руды. Поэтому работа дробильной фабрики с превышением содержания крупного класса не редкость. Расчет потерь комбинатов Криворожского бассейна (табл. 5) выполнялся исходя из того,

<sup>3</sup> Содержание крупного класса +20 мм на выходе дробильной фабрики не должно превышать 14,3% [5].

что 2 часа в течении смены дробильная фабрика работает с содержанием крупного класса, соответствующим ширине разгрузочной щели 10,5 мм. Остальные 6 часов смены содержание крупного класса в дробленой руде соответствует норме. Ценовая составляющая потерь определялась исходя из ноябрьских цен на 1 кВт·ч электроэнергии для потребителей первого класса, которая составляет 55,27 копейки.

Анализ показывает, что только за 2010 год ГОКи Криворожского бассейна перерасходуют на измельчение руды более 11 мВт электроэнергии, что в денежном эквиваленте составляет более 6 млн. гривен. Отметим, что это оценка минимальных потерь. За рамками остались износ и выход из строя грохотов между средней и мелкой стадиями дробления, а также вопросы производственной дисциплины, которые по неофициальным оценкам приводят к выполнению ситового анализа продуктов дробления не более чем один раз в сутки.

В Национальном горном университете восстановлен и усовершенствован комплекс технических средств для автоматического контроля содержания крупных классов в потоке дробленой руды (КТС АКСК). Основой разработки

Таблица 5

**Оценка энергетических и финансовых потерь ГОКов Криворожского бассейна за счет увеличения содержания крупного класса в руде на выходе дробильной фабрики**

| № п.п. | ГОК     | $E_{гк}$ , кВт·ч/т, при ширине разгрузочной щели, мм |       | $\Delta E_{гк}$ , кВт·ч/т | Январь-июнь. 2010 г.     |                    |                 | 2010 г.            |                 |
|--------|---------|--|-------|---------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
|        |         | 8  | 10,5  |                           | Произв. по руде, тыс. т. | Потери, тыс. кВт·ч | Цена, тыс. грн. | Потери, тыс. кВт·ч | Цена, тыс. грн. |
| 1.     | Сев-ГОК | 6,50   | 6,67  | 0,16                      | 37624,5                  | 1537,00            | 845,35          | 3074,00            | 1690,70         |
| 2.     | ЦГОК    | 7,88   | 8,08  | 0,20                      | 12354,0                  | 611,92             | 336,55          | 1223,83            | 673,11          |
| 3.     | НкГОК   | 8,74   | 8,96  | 0,22                      | 23786,7                  | 1305,74            | 718,16          | 2611,48            | 1436,31         |
| 4.     | ЮГОК    | 9,55   | 9,79  | 0,24                      | 15759,9                  | 945,59             | 520,08          | 1891,19            | 1040,15         |
| 5.     | ИнГОК   | 9,79   | 10,04 | 0,25                      | 21528,6                  | 1324,70            | 728,58          | 2649,39            | 1457,17         |

послужило аналогичное устройство, которое было сдано межведомственной комиссии в 1986 [3] и в дальнейшем широко и успешно эксплуатировалось на ГОКах стран СНГ [4].

**Выводы**

Контроль содержания крупного класса в руде на выходе дробильных фабрик позволяет свести к минимуму потери электроэнергии на измельчение в первой стадии, связанные с перераспределением энергии на сокращение крупности между переделами дробление – измельчение.

Для ГОКов Криворожского бассейна ожидаемый экономический эффект от контроля содержания крупного класса в потоке руды на выходе дробильной фабрики только за счет сокращения энергопотребления (без учета уменьшения

расхода шаров и футеровки для мельниц первой стадии измельчения) составляет от 670 до 1700 тыс. грн в год.

#### Список литературы

1. Справочник по обогащению руд черных металлов / С.Ф. Шинкоренко, Е.П. Белецкий, А.А. Ширяев и др. / Под ред. С.Ф. Шинкоренко. – 2-е изд., переб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 527 с.
2. Остапенко П.Е. Практика обогащения железных руд в Криворожском бассейне – М.: Недра, 1984. – 167 с.
3. Куваев Г.Н., Смурова И.Н., Бурлак В.Б. Микропроцессорный комплекс для контроля содержания крупных классов в потоке дробленой руды // АСУ ТП и средства автоматизации черной металлургии на базе микропроцессорной техники / Сб. науч. тр. / Минчермет СССР. – М., 1986. – С. 13-17.
4. Багров В.П., Куваев Г.Н., Юдицкая Л.С. Эффективность средств и систем автоматизации на дробильно-обогажительных фабриках горно-обогажительных комбинатов // Металлург. и горно-руд. пром. – 1990. № 4, – С.64-66.