

Висновки

1. Отриманий експрес-метод визначення оптимальних параметрів настрійок ПІ- та ПІД-регулятора від динамічних характеристик двоємнісних об'єктів керування

2. Практичне використання отриманих залежностей параметрів настрійок ПІ- та ПІД-регулятора від динамічних характеристик об'єктів не потребує додаткових розрахунків або побудови додаткових залежностей для пошуку оптимальних настрійок

3. Відхилення отриманого перехідного процесу від 20%-вого перерегулювання є мірою похибки у визначенні параметрів настрійок регулятора за цією методикою. Максимально можливе відхилення складає не більше $\pm 10\%$ від 20%-вого перерегулювання.

Список літератури

1. Zade L. A. Fuzzy sets // Information and Control. –1965. – Vol. 8. – P. 338-353
2. Ротач В. Я. Возможен ли синтез нечетких регуляторов с помощью теории нечетких множеств // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – №1. – С. 33-34
3. Дианов В. Г. Автоматическое регулирование и регуляторы в химической промышленности М.: Химия, 1978. – 376 с
4. Копелович А. П. Автоматическое регулирование в черной металлургии: Краткий справочник М.: Металлургиздат, 1963. – 408 с
5. Стефани Е. П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – М.: Энергия, 1972. – 346 с.
6. Ротач В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. М.: Издательство МЭИ, 2004. – 400 с.
7. Zigler J.C. and Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers. ASME Transactions, v. 64, 8, 1942, 759 p
8. Эрриот П. Регулирование производственных процессов. Пер. с англ., М.: Энергия, 1967. – 480 с
9. Блонський С. Д., Шуть О. Ф., Левчук І. Л. Визначення параметрів динамічних характеристик двоємнісних об'єктів керування // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. - №4 с. 208-210.

УДК 622.7.012:338.512

Я.Г. Куваев, канд. техн. наук

Т.В. Куваева

(Украина, Днепрпетровск, 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 по-

рядок 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, $0,5$ (кВт·ч/т)·мкм	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 гранулометрический 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]:

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

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 соответственно¹.

Таблица 2.

Гранулометрические характеристики продуктов мелкого дробления дробилки КМД 2200, ЮГОК

Ширина разгрузочной щели, мм	Размер ячейки сита, мм					
	0	3	6	12	20 ²	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 γ 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 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 нормы³. А значит, имеется

¹ Условной максимальной крупностью продукта считаем размер отверстий сита d_n , через которое просеивается 95% материала.

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

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

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	$E_{\gamma K}$ 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):

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

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, 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	$E_{\gamma K}$, кВт·ч/т, при ширине разгрузочной щели, мм		$\Delta E_{\gamma K}$, 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.