

чета площади поперечного сечения емкостей КНК конструкции ИГТМ НАНУ принимаем наиболее простую формулу (3).

Выводы и направление дальнейших исследований

На основании выполненных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Разработаны рекомендации для расчета основных параметров КНК при проектировании для условий транспортирования крупнокусковых насыпных грузов.
2. Предложена конструкция КНК нового качества, позволяющая транспортировать насыпной груз крупностью свыше 300 мм при угле наклона конвейера от 0 до 90°.

Библиографический список

1. Перспективы крутонаклонного подъема на горных предприятиях / Е.Е. Шешко, В.И. Морозов, Н.Г. Картавый // Горный журнал. – 1996. – № 6. – С. 56–59.
2. Пертен Ю.А. Крутонаклонные конвейеры. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отделение), 1977. – 216 с.
3. Паноян Р.Л. Крутонаклонные и вертикальные конвейеры (патентный обзор). – М.: ЦНИЭИуголь, 1987. – 62 с.

4. Анализ конструкций крутонаклонных конвейеров для глубоких карьеров / Е.Д. Николаев, В.Н. Дмитриев, А.С. Кастерин, А.И. Федоренко // Горный журнал. – 1999. – № 11–12. – С. 78–82.

5. ROCKETLIFT®... Передовая система крутонаклонной и вертикальной транспортировки на высоту до 500 метров / Metso minerals // [Проспект] №1809-05-04-WPC / St. Petersburg, 2004. – 21 с.

6. Крутонаклонные и вертикальные конвейеры за рубежом / В.А. Гендон, Ю.А. Пертен. – М.: ЦНИЭИуголь, 1972. – 62 с.

7. Управление процессом формирования насыпного груза в элементах загрузочных устройств конвейера / В.Ф. Монастырский, С.В. Монастырский // Сб. тр. «Математические заметки». – Якутск: Новосибирск СО РАН. – 1998. – С. 152–159.

8. Влияние соударения груза с роликоопорами на максимальный угол наклона конвейера / Г.К. Демин, О.Е. Шкарбун, Ю.А. Рыхальский, Э.Г. Кайтанджан // Транспортные и горные машины: Сб. научн. тр. – К.: Наукова думка, 1983. – С. 57–62.

Поступила 24.04.2013

УДК 622.73

Пилов П.И. /д.т.н./
ГВУЗ «НГУ»

Прядко Н.С. /к.т.н./
ИТМ НАН и ГКАУ

Наука

Моделирование замкнутых циклов измельчения руд на основе баланса контрольного класса крупности

Выполнен анализ замкнутых циклов тонкого измельчения руд с позиций решения главной технологической задачи – обеспечения раскрытия вкрапленных минералов при минимальных затратах энергии. На основе баланса расчетного класса составлены модели основных типов замкнутых циклов измельчения, используемых при обогащении железистых кварцитов, адекватность которых проверена по показателям измельчения, достигнутым на обогатительных фабриках Кривбасса. С помощью разработанных моделей установлена степень влияния гранулометрического состава измельчаемого материала на производительность мельницы, выявлен рост производительности мельниц при снижении содержания готового класса в их питании, что определяется эффективностью гидравлической классификации в замкнутом цикле. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: тонкое измельчение руд, замкнутый цикл, баланс расчетного класса, удельная производительность, эффективность классификации

The analysis of the thin grinding closed cycle of minerals is carried out from position of the main technological problem decision - maintenance of the interspersed mineral disclosing at the minimal expenses of energy is executed. On the basis of a design class balance basic type models of the grinding closed cycles used at ferriferous quartzite enrichment are made, its adequacy is checked up on the grinding parameters achieved at Krivbas concentrator factories. With the help of created models the influence degree of grinding material size distribution on mill productivity is established, a growth of mill productivity is revealed at decrease in the ready class contents of their feed that is determined by the hydraulic classification efficiency in the closed cycle.

Keywords: thin grinding of minerals, the closed cycle, design class balance, specific productivity, efficiency of classification.

Введение

Снижение энергопотребления при измельчении полезных ископаемых всегда являлось актуальной за-

дачей, поскольку этот процесс капиталоемкий, энергоемкий и оказывает существенное влияние на себестоимость продукции обогатительных фабрик.

© Пилов П.И., Прядко Н.С., 2013 г.

Технологической задачей измельчения на обогащательных фабриках является раскрытие минералов тонковкрапленных руд. Раскрытие должно осуществляться при минимальном переизмельчении вкрапленных. На переизмельчение дополнительно расходуется энергия, а образовавшиеся тонкодисперсные частицы ухудшают условия сепарации минералов, что приводит к потерям полезного компонента.

Для снижения влияния указанных факторов в промышленности используют технологии измельчения в замкнутых циклах. Идеология замкнутых циклов состоит в том, что из мельницы за счет движения транспортирующей среды (вода, воздух) извлекают заведомо недоизмельченный материал, который во внешнем классификаторе (гидравлические и пневматические классификаторы, циклоны, грохоты) разделяется на готовый по крупности продукт и крупный, направляемый на доизмельчение в ту же мельницу. Этот продукт является циркулирующей нагрузкой.

К измельчаемому материалу в мельнице через измельчающую среду с определенной интенсивностью (например, пропорциональной мощности электропривода) подводится энергия, которая расходуется на деформацию измельчаемого материала и образование новой поверхности при его разрушении. Удельные энергозатраты на единицу массы измельченного материала при этом составят $e = N/Q$, кВт·ч/т, следовательно, снижение энергопотребления при измельчении в данном агрегате возможно при увеличении его производительности при условии выполнения технологической задачи – получение измельченного продукта с заданной дисперсностью.

Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи

Исходя из идеологии замкнутых циклов, из измельчаемого материала (исходный материал, циркулирующая либо комбинированная нагрузка) перед подачей его в мельницу необходимо удалить частицы, крупностью менее крупности готового продукта. Кроме того, при мокром измельчении необходимо кондиционировать пульпу по содержанию твердой фазы,



Рис. 1. Схема замкнутого цикла измельчения руд с контрольной классификацией разгрузки мельницы

т.е. классификация по крупности должна осуществляться перед подачей материала в мельницу и при выходе из него. Однако, технологическая необходимость применения предварительной классификации, либо совмещения ее с контрольной классификацией определяется конкретными условиями измельчения.

Из опыта обогащения руд [7, 8] следует, что для первой стадии измельчения, когда в мельницу поступает дробленая руда, целесообразно применять замкнутый цикл с контрольной классификацией слива мельницы и возвратом в мельницу песков классификатора в виде циркулирующей нагрузки (рис. 1).

Для тонкого измельчения руд (вторая и последующие стадии) целесообразно применение замкнутых циклов с предварительной и контрольной классификациями, совмещенными в одном аппарате, например, в гидроциклоне (рис. 2). Каждый из продуктов замкнутых циклов измельчения характеризуется величиной массового расхода Q , поверхностью S и функцией распределения частиц по крупности $\phi(x)$. Операция классификации измельченных продуктов по крупности имеет сепарационную характеристику $E(x)$ – зависимость вероятности извлечения частиц от их крупности.

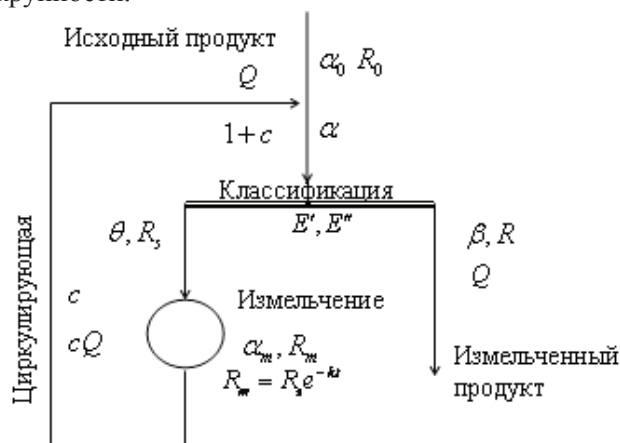


Рис. 2. Схема замкнутого цикла тонкого измельчения руд с совмещением предварительной и контрольной классификации

В мельнице к измельчаемому материалу через измельчающую среду подводится энергия ΔN , что вызывает разрушение частиц и образование новой поверхности ΔS , при этом, согласно гипотезе Риттингера [1] $\Delta N \sim \Delta S$.

Моделирование замкнутых циклов измельчения с целью оптимизации их параметров для увеличения производительности мельницы нами предпринято в работе [4]. Основой моделирования является то, что согласно гипотезе Риттингера прирост вновь образованной поверхности пропорционален количеству подведенной энергии. А увеличившейся поверхности соответствует новая дисперсность, которая описывается соответствующей функцией распределения.

Дальнейшее развитие такого подхода должно осуществляться после установления функций распределения частиц по крупности в измельченном продукте и взаимосвязи гранулометрического состава с удель-

ной поверхностью, а также получения уравнения кинетики измельчения на основе пропорциональности величины вновь образованной поверхности измельченных частиц времени процесса.

В единицу времени в мельницу поступает материал в количестве Q . Его разделение на готовый по крупности продукт и тот, который должен поступить на повторное измельчение (циркулирующая нагрузка C), осуществляется в операции классификации. Ее результаты зависят от сепарационной характеристики классификатора $E(x)$, определяемой сочетанием конструктивных и режимных параметров аппарата.

Учитывая изложенные выше сложности описания замкнутых циклов измельчения, в работе рассматривается упрощенная модель, сущность которой состоит в том, что процесс измельчения рассматривается как превращение крупных классов в мелкие. При этом часть энергии, подводимой к измельчаемому материалу, продуктивно расходуется именно на это превращение. Другая часть энергии расходуется на переизмельчение уже готового продукта. Пропорции между этими энергозатратами определяются содержанием контрольного класса в продукте, поступающем в мельницу θ , т.е. продуктивные затраты энергии пропорциональны $1-\theta$. Здесь и далее содержания расчетного класса представлены в долях единицы.

Для снижения энергопотребления при тонком измельчении руд необходимо для данной руды с ее физико-механическими свойствами выбрать режим измельчения, обеспечивающий максимально возможную производительность по образованию контрольного класса крупности при обеспечении такого его содержания, которое позволяет получить необходимую степень раскрытия вкрапленных минералов.

Основной материал исследования

Для выяснения степени влияния управляемых факторов на производительность мельницы рассмотрим замкнутые циклы измельчения (рис. 1, 2), применяемые на современных обогатительных фабриках. К управляемым факторам мы относим время пребывания измельчаемого материала в мельнице и сепарационную характеристику классификатора. Исходя из принятого формата рассмотрения процесса измельчения, эту сепарационную характеристику целесообразно представить в виде показателей вероятности извлечения в готовый продукт (слив классификатора) класса крупности менее E' и более расчетного E'' .

Модели рассматриваемых замкнутых циклов измельчения составим на основе уравнений баланса расчетного класса в операции классификации и смешения продуктов. В качестве показателя, характеризующего крупность продукта, используем величину остатка R на контрольном сите в размерности долей единицы.

Кинетику измельчения, т.е. закономерности уменьшения во времени остатка R на контрольном сите, примем на основании принятого в практике уравнения [1, 6-9]

$$R = R_0 e^{-kt}, \quad (1)$$

где R_0 - начальный остаток на контрольном сите; k - константа скорости измельчения; t - время измельчения.

Рассмотрим замкнутый цикл измельчения с контрольной классификацией измельченного продукта с получением готового по крупности и циркулирующей нагрузки (рис. 1).

Баланс остатка контрольного класса в операции классификации по крупности описывается уравнением

$$(1+c)R_m = R + cR_s, \quad (2)$$

откуда остаток контрольного класса в измельченном продукте

$$R = \frac{(1+c)R_m E''}{(1+c)R_m E'' + (1+c)(1-R_m)E'} = \frac{R_m E''}{R_m E'' + (1-R_m)E'}, \quad (3)$$

либо

$$R = R_m (1+c) E'', R_m = \frac{R}{E''(1+c)}. \quad (4)$$

С другой стороны, остаток контрольного класса в разгрузке мельницы R_m можно определить по кинетике измельчения, зная, что на измельчение поступает комбинированная загрузка (исходный продукт и циркулирующая нагрузка) с остатком контрольного класса R_n

$$R_m = R_n e^{-kt}. \quad (5)$$

Остаток контрольного класса в загрузке мельницы определяется из уравнения его баланса

$$R_n = \frac{R_0 + R(1-E'')/E''}{1+c}. \quad (6)$$

Учитывая (5), после преобразований, получаем

$$e^{kt} = E'' \left(\frac{R_0}{R} - 1 \right) + 1 = A. \quad (7)$$

Поскольку время пребывания измельчаемого материала в мельнице определяется ее рабочим объемом V_m и объемным расходом материала и транспортирующей среды через мельницу Q_v , то:

$$t = \frac{V_m}{Q_v (1+c)} = \frac{1}{q_v (1+c)}. \quad (8)$$

Здесь q_v - удельная объемная производительность мельницы по исходному продукту. Ее значение может быть получено с учетом (7) в виде

$$q_v = \frac{k}{\ln A(1+c)}. \quad (9)$$

В практике обогащения полезных ископаемых принято использовать в качестве комплексного критерия, отображающего способность данной мельницы измельчать крупные частицы (крупнее контрольного класса) данного материала, удельную производительность по вновь образованному классу

$$q_a^v = q_v (R_0 - R) = \frac{k(R_0 - R)}{\ln A(1+c)}. \quad (10)$$

Выражение $(1+c)$ может быть определено из баланса крупного в операции классификации

$$1 = (1+c)R_m E'' + (1+c)(1-R_m)E', \quad (11)$$

тогда с учетом (4) получаем

$$1 + c = \left(1 + R \frac{E' - E''}{E''} \right) / E' \quad (12)$$

Во второй и последующих стадиях измельчения применяют замкнутые циклы с совмещением предварительной и контрольной классификации (рис. 2). Отличительной особенностью таких циклов является то, что в мельницу поступают только пески классификатора после выделения готового продукта, как из исходного материала цикла, так и из разгрузки мельницы.

Используя, как и в предыдущем случае, уравнения баланса по остатку контрольного класса крупности при аналогичных преобразованиях, получаем

$$(1 + c) R_n = R_m c + R_0; \quad (13)$$

$$R = \frac{R_n E''}{R_n E'' + (1 - R_n) E'} = R_n E'' (1 + c); \quad (14)$$

$$R_n (1 + c) = R + R_s c; \quad (15)$$

$$R_m = R_n e^{-kt}; \quad (16)$$

$$e^{kt} = \frac{1 - E''}{1 - \frac{R_0}{R} E''} = A; \quad (17)$$

$$q_a^v = \frac{k(R_0 - R)}{\ln A(1 + c)}; \quad (18)$$

$$1 + c = \left(1 + R \frac{E' - E''}{E''} \right) / E'. \quad (19)$$

Сопоставляя представленные модели замкнутых циклов измельчения, следует отметить, что формулы (10) и (18) для расчета производительности мельницы по вновь образованному классу q_a^v и формулы (12) и (19) для определения величины комбинированной нагрузки $(1 + c)$ идентичны. Отличны лишь выражения для параметра A , определяемого соотношением остатка контрольного класса до и после измельчения и степенью извлечения этого класса в слив классификатора. Для замкнутого цикла измельчения с контрольной классификацией разгрузки мельницы (рис. 1) он определяется исходя из формулы (7), а для

Таблица 1. Показатели работы рудоразмольных мельниц железорудных обогатительных фабрик [8]

	q	q_{74}	q_{74}^v	α	β	ϑ	R_0	R_s	R	E'	E''	$q_{a \text{ расч}}^v$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	1,98	1,07	0,3057	28,27	60	11,3	0,7173	0,887	0,4	0,7395	0,1943	0,3114
	2,5	0,837	0,186	43,04	80	30,6	0,5696	0,694	0,2	0,4682	0,0884	0,1902
	1,95	0,234	0,0468	81,53	96,4	77,6	0,1847	0,224	0,036	0,263	0,0611	0,0451
	2,15	0,9	0,2571	29,51	68	14,7	0,7049	0,853	0,32	0,6402	0,1261	0,3057
	1,51	0,55	0,1375	41,1	94,5	27,4	0,589	0,726	0,055	0,4782	0,0354	0,1385
	2,06	1,12	0,32	28,72	60	14,5	0,7128	0,855	0,4	0,6529	0,1754	0,3071
	2,63	0,96	0,2133	41,34	85	28	0,5866	0,72	0,15	0,4811	0,0598	0,2013
II	2	0,28	0,056	81,06	95,5	76,5	0,1894	0,235	0,045	0,2887	0,065	0,0577
	2,49	1,38	0,3943	30,68	63	14,5	0,6932	0,855	0,37	0,6955	0,2052	0,4381
	2,38	0,98	0,2178	49,32	83	26,8	0,5068	0,732	0,17	0,6743	0,1344	0,2223
	1,74	0,29	0,058	81,54	96	71,2	0,1846	0,288	0,04	0,5063	0,1177	0,0595
	2,79	1,48	0,4229	32,67	56,3	14,5	0,6733	0,855	0,437	0,7492	0,2822	0,438
	2,8	0,77	0,1711	54,7	88	41,7	0,453	0,583	0,12	0,4687	0,103	0,1727
	2,03	0,293	0,0586	82,77	97,8	77,5	0,1723	0,225	0,022	0,3167	0,0471	0,0622
III	4,53	2,13	0,6086	24,9	62,5	10,1	0,751	0,899	0,375	0,709	0,1411	0,5873
	1,7	0,58	0,1289	61,09	86	49	0,3891	0,51	0,14	0,5106	0,2004	0,1295
	1,78	0,3	0,06	88,16	94,5	85,5	0,1184	0,145	0,055	0,3338	0,1587	0,0595
	3,5	1,6	0,4571	34,19	62	20,8	0,6581	0,792	0,38	0,6137	0,2357	0,4875
	2,75	0,95	0,2111	52,09	89	38,2	0,4791	0,618	0,11	0,4842	0,0929	0,2122
	1,81	0,4	0,08	86,62	97	83,2	0,1338	0,168	0,03	0,2772	0,0555	0,0827
IV	3,25	1,95	0,5571	30,18	61	11,7	0,6982	0,883	0,39	0,7407	0,1541	0,5466
	2,53	0,78	0,1733	50,14	92,8	39,2	0,4986	0,608	0,072	0,3971	0,0597	0,1746
	2,06	0,17	0,034	84,85	98,3	79,2	0,1515	0,208	0,017	0,3677	0,0702	0,0346
	3,77	1,97	0,5629	28,11	63	5,4	0,7189	0,946	0,37	0,8782	0,1654	0,5571
	2,44	0,91	0,1936	47,27	94,2	35,4	0,5273	0,646	0,058	0,4139	0,0412	0,2038
	1,83	0,33	0,066	90,9	96,5	85	0,091	0,15	0,035	0,506	0,1295	0,0647
V	2,6	1,63	0,4657	32,34	55	10,2	0,6766	0,898	0,45	0,8718	0,4605	0,4689
	2,62	0,75	0,1667	46,77	88	36	0,5323	0,64	0,12	0,4278	0,106	0,1714
	1,8	0,24	0,048	76,26	98	67,8	0,2374	0,322	0,02	0,3815	0,0564	0,0492

замкнутого цикла измельчения с совмещением предварительной и контрольной классификации (рис. 2) – из формулы (17).

Таким образом, в результате моделирования получена зависимость для удельной производительности мельницы по вновь образованному контрольному классу при выполнении технологического задания получения требуемой дисперсности измельченного продукта. Рост производительности в данных условиях обеспечивается повышением эффективности классификации по крупности разгрузки мельницы за счет улучшения сепарационной характеристики. Для данной модели это достигается при увеличении степени извлечения E' в слив частиц крупностью менее контрольной и снижении степени извлечения частиц крупностью более контрольной E'' . При неизменной мощности электропривода с ростом производительности мельницы снижаются и удельные энергозатраты

$$e = \frac{N}{Q} = \frac{N(\beta - \alpha_0)}{q_a^V \delta V} = \frac{N(R_0 - R)}{q_a^V \delta V}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/т} \quad (25)$$

Таким образом, дальнейшие задачи исследований сводятся к доказательству адекватности моделей замкнутых циклов и их использование для выбора конструктивных и режимных параметров, обеспечивающих снижение энергозатрат на измельчение за счет роста производительности (табл. 1).

В первой колонке табл. 1 помещены номера горно-обогатительных комбинатов Криворожского железорудного бассейна: I – Южный, II – Ново-Криворожский, III – Центральный, IV – Северный, V – Ингулецкий.

Колонки 2 и 3 содержат значения удельной производительности ($\text{т/ч} \cdot \text{м}^3$) по исходному продукту q и по вновь образованному классу -74 мкм q_{74}^V из источника [8]. В колонке 4 приведены значения удельной объемной производительности по вновь образованному классу -74 мкм q_{74}^V ($\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^3$), полученные путем деления значений из колонки 3 на плотность измельчаемого материала. Содержание класса крупности менее 74 мкм в питании гидравлического классификатора α , в его сливе β и в песках ϑ в колонках 5, 6 и 7 соответствуют значениям из источника [8].

В колонках 8, 9, 10 в долях единицы представлены рассчитанные значения остатка контрольного класса в исходном продукте цикла измельчения R_o , в песках классификатора R_s и в его сливе (готовом, измельченном продукте) R . В колонках 11 и 12 представлены параметры сепарационной характеристики классификатора: извлечение в слив частиц крупностью менее E' и более контрольной E'' .

Анализ данных, приведенных в табл. 1, позволяет сделать вывод о том, что наиболее тесная корреляционная связь удельной объемной производительности по вновь образованному расчетному классу наблюдается с его содержанием в песках классификатора, образующих циркулирующую нагрузку. Коэффициент достоверности аппроксимации колеблется от 0,9557 до 1 (табл. 2). Это свидетельствует о высокой степени корреляции сопоставляемых величин и о наличии, при более детальном рассмотрении, их нелинейной связи.

Таблица 2. Результаты аппроксимации зависимости удельной производительности по вновь образованному классу -74 мкм от его содержания в песках классификатора

	Уравнение	R^2	$q_{a \text{ max}}^V$
1	2	3	4
I	$q_{74}^V = 0,4037e^{-0,027,9}$	0,9557	0,4037
II	$q_{74}^V = 0,6055e^{-0,032,9}$	0,9829	0,6055
III	$q_{74}^V = 0,7315e^{-0,029,9}$	0,9570	0,7315
IV	$q_{74}^V = 0,6837e^{-0,033,9}$	0,9346	0,6837
V	$q_{74}^V = 0,6939e^{-0,039,9}$	1,0000	0,6930

Такая нелинейность, вероятно, связана с тем, что гипотеза Риттингера в области тонкого измельчения не подтверждается, о чем отмечается в [1]. Вместе с тем, приведенная аргументация свидетельствует о снижении удельной производительности мельниц по вновь образованному классу при увеличении его содержания в питании мельницы. Когда содержание расчетного класса равно нулю, то удельная производительность мельницы будет иметь максимальное значение (колонка 4 табл. 2).

Эта величина может быть принята в качестве константы мельницы при измельчении данной руды и используется в уравнении кинетики измельчения (6) и в формулах (11) и (22) для расчета производительности замкнутых циклов измельчения. Ее применение в расчетах совместно с данными табл. 1 позволило рассчитать удельную производительность мельницы в замкнутом цикле (колонка 13 табл. 1). Сопоставление полученных результатов со значениями, достигнутыми в промышленности (колонка 4 табл. 1) представлено на рис. 3.

Высокое значение коэффициента надежности аппроксимации и угловой коэффициент линейного уравнения, близкий к единице, позволяют утверждать, что разработанные модели замкнутых циклов измельчения адекватны во всем рассмотренном диапазоне изменения режимных параметров.

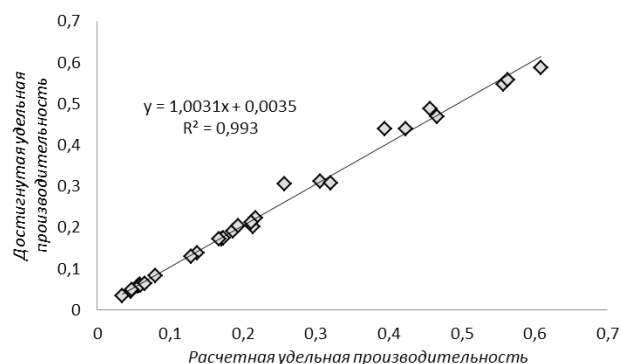


Рис. 3. Результаты сопоставления расчетной и достигнутой в промышленности удельной объемной производительности мельниц по классу -74 мкм

Анализ разработанных моделей позволяет

сделать вывод о значительной роли классификации по крупности в циклах измельчения, эффективность которой предопределяется ее сепарационной характеристикой (в данных моделях это извлечения в слив классификатора мелкого E' и крупного E'' классов), а также соотношение крупности исходного и готового продуктов цикла измельчения.

Этот анализ, а также приведенная выше экспериментальная зависимость удельной производительности мельницы от содержания расчетного класса в песках классификатора подтверждают, что снижению этого содержания способствует повышение эффективности классификации разгрузки мельницы. Для мокрого измельчения разработаны и апробированы в промышленных условиях технологии гидравлической классификации [3, 5], применение которых обеспечит повышение производительности замкнутых циклов измельчения и снижение удельных энергозатрат. Безусловно, применение более совершенных технологий гидравлической классификации потребует дополнительных энергозатрат, но они на порядок ниже, чем их экономия при измельчении.

Выводы

Разработанные математические модели замкнутых циклов измельчения, подтвержденные показателями измельчения железных руд в промышленных условиях, могут использоваться для проектирования технологий измельчения и совершенствования существующих, путем повышения эффективности классификации по крупности измельчаемых продуктов.

Библиографический список

1. Линч А. Дж. Циклы дробления и измельчения. - М.: Недра, 1981. - 343 с.

2. Измельчение. Энергетика и технология / Г.Г. Пивняк, Л.А. Вайсберг, В.И. Кириченко и др. - М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2007. - 296 с.

3. Пилов П.И. Принципы минимизации водопотребления при обогащении магнетитовых кварцитов // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 1998. - № 4. - С. 60-63.

4. Пилов П.И., Прядко Н.С. Моделирование замкнутых циклов измельчения на основе гипотезы Риттингера // Обогащение полезных ископаемых. - 2012. - №51(92). - С. 98-107.

5. Пилов П.И., Ширияев А.А., Салищева Е.П. Разработка технологии тонкого измельчения окисленных железных руд с получением плотных сливов классификации В кн.: Обогащение слабомагнитных руд черных металлов. - М.: Недра, 1984. - С. 3-11.

6. Разумов К.А. Проектирование обогатительных фабрик / Уч. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1982. - 518 с.

7. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / Под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Недра, 1982. - 366 с.

8. Справочник по обогащению руд черных металлов / С.Ф. Шинкоренко, Е. П. Белецкий, А. А. Ширияев и др. 2-е изд., перераб. и доп. под ред. С.Ф. Шинкоренко. - М.: Недра, 1980. - 527 с.

9. H. Schubert. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe / Band 1. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig, 1968.

Поступила 07.10.2013



ЖУРНАЛ "МГП" - ДЛЯ ТЕХ, КТО РАБОТАЕТ В МЕТАЛЛУРГИИ И ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ!

Стоимость рекламы (в гривнах):

Площадь, формат	Чёрно-белая	Полноцветная
1 стр. обложки (1/2 стр)		5 000
4 стр. обложки:		
страница (A4)	-	5 000
на страницах журнала:		
страница (A4)	1 000	2 000
1/2 стр.	500	1 000
Вложение в журнал рекламных листовок: A4 – 1 грн.; A5 – 0,5 грн.		
Публикация статьи на правах рекламы – 750 грн за страницу.		

Адрес редакции:

49027, Днепропетровск, ул. Дзержинского, 23 ,
тел/факс (0562) 46-12-95, (056) 744-81-66.
E-mail: metinfo@metinform.dp.ua;
http: // www. metaljournal.com.ua