

Автоматизация та управління процесами збагачення

потребляемой центрифугами суммарной активной мощности, по сравнению с ранее рассмотренной системой, путем повышения быстродействия уменьшит среднеквадратичное отклонение зольности обезвоженного концентрата и соответственно его потери с отходами.

Список литературы

1. **Ямпольский М. Н.** Управление отсадочной машиной по результатам контроля зольности концентрата // Обогащение и брикетирование угля. – 1971. – № 10. – С.10–12.
2. **Фатеев В. Н.** Исследование и разработка системы автоматической оптимизации процесса отсадки угля: Дис. ... канд. техн. наук – Харьков, 1981. – 203 с.
3. **Ротач В. Я.** Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
4. Исследование технологических процессов углеобогащения Суходольской ЦОФ с целью разработки моделей автоматического управления: Отчет о НИР /Днепропетровский горный институт /ДГИ/; Руководитель А. И. Лазорин. – №ГР 79027177. – М., 1981. – 93 с.
5. **Власов К. П., Лехциер Л. Р.** Автоматическое управление процессами отсадки угля. – М.: Недра, 1978. – 112 с.
6. **Стефани Е. П.** Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессаов. – М.: Энергия, 1972. – 376 с.

© Лазорин А.И., Зуб И.А., Одновол Н.Н., Савченко К.К., 2005

*Надійшла до редколегії 23.05.2005 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. В.В. Ткачовим*

УДК 622.7.658.5

В.П. ХОРОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, **Т.В. ХОРОЛЬСКАЯ**

(Украина, Кривой Рог, Криворожский экономический институт КНЭУ),

Е.К. БАБЕЦ, канд. техн. наук

(Украина, Кривой Рог Криворожский технический университет)

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ-ИНТЕНСИФИКАТОРЫ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ ТРУДНООБОГАТИМЫХ РУД

Технология магнитофлотационной доводки концентрата включает операции: усреднения, флотации с использованием катионного собирателя, сгущения и фильтрации флотационного концентрата; дробления пенного продукта флотации в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с

107

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 24(65)

Автоматизация та управління процесами збагачення

гидроциклоном, магнитного обогащення слива гидроциклона с получением отходов и магнитного продукта, который возвращается снова во флотомашину и требует нестандартных решений при проектировании систем управления [1].

Высокие требования к раскрытию минерального зерна до класса – 0,050 мм в системах флотационного дообогащения концентратов требуют от менеджеров проекта производства суперконцентрата разработки современных систем контроля и адаптивного управления многостадийными технологическими процессами [2]. В то же время практика обогащения труднообогатимых руд показала, что применяемые специальные устройства – интенсификаторы (с импульсными электромагнитными полями и воздействиями силовыми ультразвуковыми полями) не только интенсифицируют процессы дообогащения руд, но и повышают эффективность флотации минерального сырья.

С целью повышения эффективности работы технологических линий и стабилизации качества концентрата, поступающего на флотацию, далее предлагаются инновационные решения авторов, которые позволяют производить дообогащение частиц полезного ископаемого в поле действия комбинированных сил. Задачей робототехнологических установок, встроенных в технологический процесс, является воздействие на гетерогенную среду электромагнитных и бегущих полей и силовых ультразвуковых воздействий, распределенных по технологическим аппаратам линии обогащения руд [2]. Рассмотрим более детально проектные решения, позволяющие создать робототехнологические устройства, интенсифицирующие процесс переработки труднообогатимых руд в концентрат и робототехнологические установки, интенсифицирующие процесс стабилизации качества концентрата с содержанием общего железа 64,3–64,5% после третьей стадии обогащения, поступающего на флотацию.

Как показали лабораторные исследования, поддержание заданного значения общего железа в магнитном концентрате при изменении содержания разновидностей труднообогатимых руд до 80% можно достигнуть путем создания организованных скачкообразных силовых воздействий на пульпу, интенсифицирующих процесс раскрытия зерна путем формирования и управления флокулами рудных частиц, размагничиванием пульп, разбиением пены и изменением кристаллической структуры гетерогенной среды, поступающей на флотацию [2].

Объектом управления является часть технологической линии обогащения, (рис. 1), которая состоит из следующих обогатительных аппаратов: 1 – контактный чан; 2 – флотомашина; 3 – гидроциклон; 4 – мельница; 5 – магнитный сепаратор; 6 – песковые насосы; 7 – электропривод насоса. С целью интенсификации процесса обогащения труднообогатимых руд и получения концентрата с содержанием общего железа 67% и выше в технологическую

Автоматизация та управління процесами збагачення

линию встроены робототехнологические системы-интенсификаторы: 8 – флокуляторы; 9 – размагничивающее устройство; 10 – система управления ультразвуковыми установками; 11 – электромагнитная насадка. В системе управления технологической линией информация с датчиков 12–17 поступает в УСО микроЭВМ – 18, которая затем через специальные устройства преобразования (станция 19) подаются на исполнительные устройства встроенных робототехнологических установок 8–11.

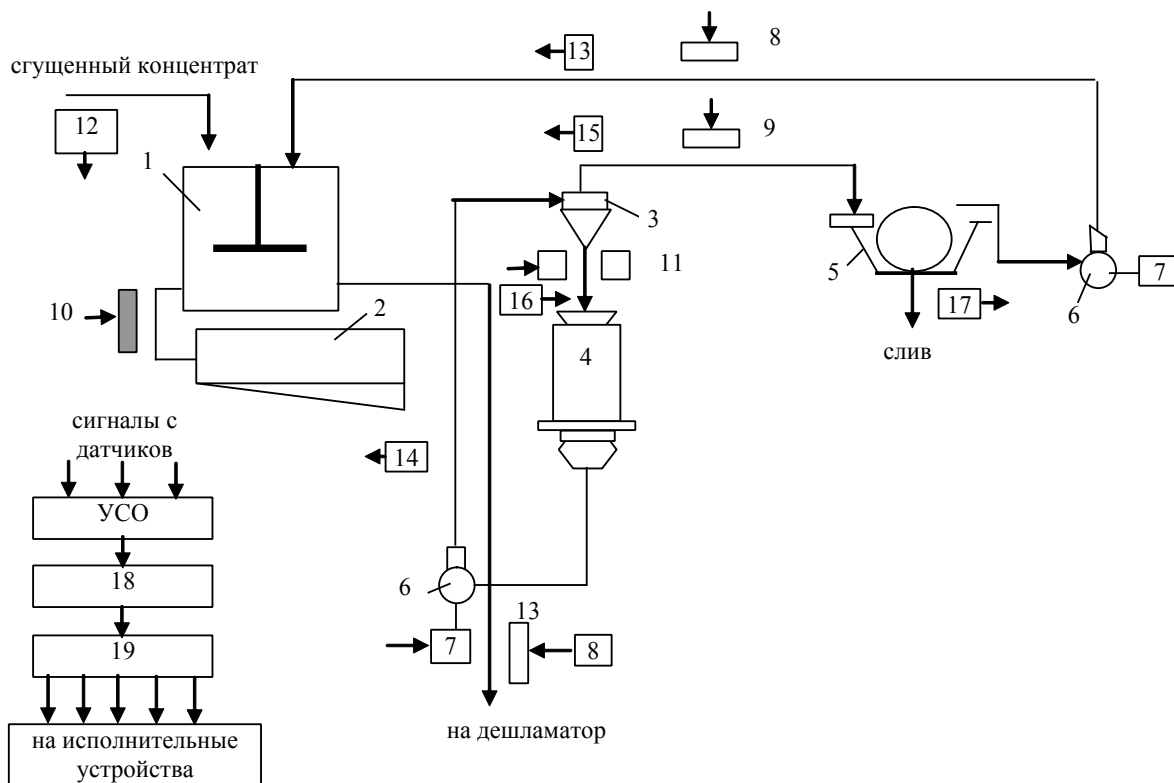


Рис. 1. Система управления технологической линией обогащения руд

Поведение объектов, интенсифицирующих процесс обогащения труднообогатимых руд и концентратов, поступающих на дообогащение, можно описать следующим уравнением:

$$T_0 x(t) + x(t) = KU(t - \tau) \quad (1)$$

где $x(t)$ – входной сигнал; K – коэффициент усиления; $U(t - \tau)$ – сигнал управления; T_0 – постоянная времени, которая подчиняется соотношению

Автоматизация та управління процесами збагачення

Для таких систем целесообразно использовать импульсные законы управления [3] с управляющим воздействием вида

$$U_i = U_{i-1} + K_p E_i, \quad (2)$$

где K_p – коэффициент усиления; U_i – управляющее воздействие постоянное на интервале

$$iT_{кв} \leq t < (i+1)T_{кв},$$

$T_{кв}$ – интервал квантования; E_i – значение ошибки в моменты времени t_1, t_2, \dots

Выбор такого закона управления обусловлен тем, что при выборе параметров

$$T_{кв} = \tau + 3T_O, \quad K_p = \frac{1}{K_O}$$

он обеспечивает отработку скачкообразных задающих воздействий типа $g(t) = gl(t)$ за один интервал квантования и без перерегулирования [4].

При синтезе импульсной системы управления следует учитывать влияние низкочастотной части спектра шума $V(t)$ на качество функционирования системы. Рассмотрим шум, который формируется из центрирования гауссовского белого шума с интенсивностью $\xi(t)$ и выделяется низкочастотным фильтром:

$$T_1 V(t) + V(t) = \xi(t),$$

где T_1 – постоянная времени фильтра.

Дисперсия ошибки $E(t)$, обусловленная действием шума, имеет следующий вид:

$$D = \frac{C}{i} \int H(Z) H(Z^{-1}) \frac{dz}{z}. \quad (3)$$

Интегрирование выражения (3) осуществляется на комплексной плоскости по окружности единичного радиуса.

В рассматриваемом случае функция $H(Z)$ определяется как

Автоматизація та управління процесами збагачення

$$H(Z) = \frac{W(z, m)}{1 + G(z, m)} \quad (4)$$

Здесь $W(z, m)$ – модифицированное Z – преобразование передаточной функции фильтра, формирующего шум $V(t)$:

$$W(z, m) = \frac{1b^m}{\beta(2-b)}, \quad (5)$$

где

$$\beta = \frac{1}{T_1}, \quad b = \exp\{-T_{кв} / T_1\}, \quad m = 1 - \frac{\tau}{T_{кв}}.$$

$G(z, m)$ – модифицированные z – преобразования передаточной функции последовательно соединенных объекта и непрерывной части импульсного регулятора:

$$G(z, m) = K \left[\frac{1}{z-1} - \frac{a_m}{z-a} \right], \quad (6)$$

где $K = K_o \cdot K_p$; $a = \exp\{-T_{кв}/T_1\}$.

Подставив уравнения (5),(6) в (4) и преобразовав его, получим

$$H(Z) = \frac{\beta(z-1)(z-a)}{(z-b)[z-(1-K)]} \quad (7)$$

Разложим (7) в ряд по отрицательным степеням Z :

$$H(Z) = \frac{A}{z-b} + \frac{B}{z-(1-k)} = \frac{Az^{-1}}{1-bz^{-1}} + \frac{Bz^{-1}}{1-(1-k)z^{-1}}, \quad (8)$$

где

$$A = \frac{\beta(1-b)}{1-k-b}; \quad B = \frac{-\beta k}{1-k-b} \quad (9)$$

Используя разложение в степенной ряд, запишем

$$H(Z) = \sum_{i=1}^{\infty} [Ab^{i-1} + B(1-k)^{i-1}] Z^{-i} \quad (10)$$

Тогда составляющая ошибки E_i , обусловленная действием шума $V(t)$, следующая:

$$E_v(iT_{кв}) = \sum_{j=1}^i [Ab^{i-1} + B(1-k)^{i-1}] \xi[(k-j)T_{кв}] \quad (11)$$

Возведя выражение [11] в квадрат и произведя осреднение с учетом того, что соотношение: $[\xi'(jT_{кв})]^2 = C, [\xi(jT_{кв})\xi(iT_{кв})] = 0$, справедливо при $i \neq j$ (где [.] означает осреднение), получим уравнение дисперсии:

$$D = \frac{C\beta^2}{(1-k-b)^2} \left[\frac{1-b}{1+b} + \frac{K}{2-K} - 2 \frac{(1-b)K}{1-b+bk} \right] \quad (12)$$

Для определения оптимальных настроек K_p и $T_{кв}$ минимизируем дисперсию (12), имея в виду, что всегда $T_{кв} > \tau$. Поскольку аналитическая оптимизация (12) затруднена, минимизацию будем проводить численными способами, воспользовавшись методами наискорейшего спуска. В результате такой минимизации, выполненной при различных значениях C, T_1 , оказалось, что практическое оптимальное значение T_o совпадает со значением $T_{кв} = \tau + 3T_o$, а оптимальное значение K_p , в зависимости от уровня C и частотных свойств T_1 шума, изменяется от $1/K_o$ до 0.

При малых значениях K_p отработка задающих скачкообразных воздействий затягивается.

Чтобы удовлетворить как требованию достаточного быстродействия системы, так и минимуму дисперсии ошибки, обусловленной шумом V_t , введем критерий

$$I(E(t)) = \frac{1}{10\tau \min} \int_0^{10\tau \min} E^2(t) dt \quad (13)$$

и проведем относительно его оптимизацию закона управления (2) по K_p .

Результаты такой оптимизации, выполненной численно методом "золотого сечения" для различных C и T , показаны на рис. 2.

Здесь сплошные линии означают оптимальные значения в зависимости

Автоматизація та управління процесами збагачення

от интенсивности шума при различных значениях T_1 .

Эти оптимальные значения достаточно точно можно аппроксимировать выражением:

$$K_p^* = \frac{z(t)}{(z(t) + 2C)} \frac{1}{K_0}, \quad (14)$$

Что хорошо видно из рис. 2 (пунктирные линиями). Значения функционала (13) при настройках параметров закона (2) согласно (14) приведены на рис. 3.

В системе управления технологической линией обогащения руд (рис.1) интенсификация процесса обогащения магнитного концентрата, поступающего с выхода перемешивателя 1 во флотационную машину 2, осуществляется воздействием ультразвуковых колебаний, вырабатываемых управляемым генератором мощных ультразвуковых колебаний и излучаемых в поток пульпы магнитострикционным преобразователем (встроенным робототехнологическим устройством 10).

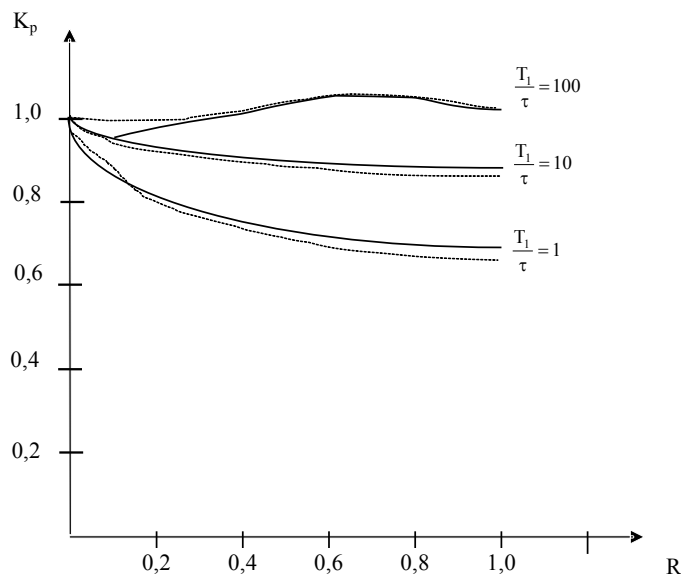


Рис. 2. Кривые результата аппроксимации параметра K_p

Автоматизація та управління процесами збагачення

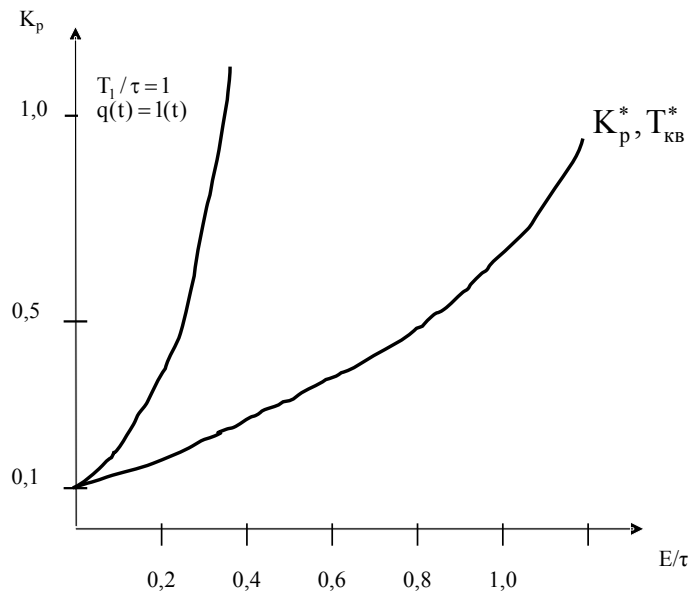


Рис. 3. Кривые настройки параметров T_l , τ

Под воздействием ультразвуковых колебаний большой мощности, создаваемых устройством 10, происходит:

- разделение минералов (в случае неполного завершения этого процесса на предыдущих стадиях измельчения-классификации);
- изменение магнитной восприимчивости железосодержащего минерала в исходном материале;
- формирование флокул.

Разность текущего и базового значений магнитных восприимчивостей исходного материала, измеренная датчиком 12 поступает на вход микропроцессора 18, в который заложен алгоритм работы беспойсковой адаптивной системы импульсного управления. С выходов микропроцессора 18 и станции распределенного управления 19 поступает сигнал управления на устройство 10, который возбуждает ультразвуковые колебания, поддерживающие магнитную восприимчивость материала постоянной μ_m .

Эффективность разделения минералов в магнитном поле обогатительных аппаратов значительно возрастает в случае предварительной флокуляции частиц полезного компонента. Процесс флокуляции определяется напряженностью внешнего магнитного поля и магнитной восприимчивостью полезного компонента, а также плотностью исходного материала, случайные флуктуации этих параметров приводят к попаданию частиц пустой породы во флокулы, что уменьшает извлечение полезного компонента в концентрат. Управляемыми параметрами процесса магнитной флокуляции являются скорость флокулообразования и качество, т.е. чистота флокул.

Автоматизация та управління процесами збагачення

При этом максимальное извлечение железа-магнетита в концентрат можно получить при управлении скоростью флокулообразования и их размерами, что достигается соответственно управлением плотностью пульпы и напряженностью магнитного поля, воздействующего на гетерогенную среду [5, 6].

Управление флокулообразованием ферромагнитных частиц пульпы на участке магнитный сепаратор 5 – контактный чан 1 можно осуществить с помощью импульсных бегущих электромагнитных полей путем создания с помощью встроенного робототехнологического устройства 8 зоны намагничивания частиц пульпы (зоны флокулообразования).

Это достигается регулированием амплитуды и длительности намагничивающих импульсов, создаваемых выделенным каналом управления – датчик 13, УСО, многопроцессорный комплекс 18, станция распределенного управления 19, встроенное устройство 8.

Процесс управления флокулообразованием заключается в выборе такого режима работы установки с бегущим электромагнитным полем, при котором содержание магнитного железа в магнитном концентрате, поступающего на

обогащение соответствовало бы норме: $\beta_{TFeM} = |\beta_{HFeM}|$.

С этой целью в системе производится контроль параметров флокулообразования с помощью датчика 13.

$$\theta_g = \frac{E}{\dot{X}}$$

Микропроцессор 8 осуществляет вычисление величины θ_g , где $E = K_{zi} - K_{3\delta}$; K_{zi} – текущее значение коэффициента затухания ультразвуковых колебаний; $K_{3\delta}$ – базовое значение коэффициента затухания ультразвуковых

колебаний; $\dot{X} = \frac{dE(t)}{dt}$ – реальная производственная величины E , т.е. скорость изменения процесса флокулообразования.

Вычисленное значение θ_g , характеризующее динамику изменения размеров флокул микропроцессором 18, который формирует импульсный закон управления (5, 6) в соответствии с теорией, изложенной выше.

Итак, многоканальный микропроцессор 18 по информации датчика 13 (посредством импульсного адаптивного закона управления управляет напряженностью магнитного поля, воздействующего на исходный материал таким образом, чтобы обеспечить оптимальное с точки зрения соотношения чистоты и размеров образующихся флокул, его значением, и тем самым, обеспечивает максимальный выход полезного компонента в концентрат на выходе аппарата 1 обогащенного продукта после флотации (флотомашина 2). Повышение эффективности работы гидроциклона магнитного сепаратора в этой части технологического процесса получается за счет встроенного

Автоматизація та управління процесами збагачення

робототехнологического устройства 9 и создаваемой зоны размагничивания и перемешивания ферромагнитных частиц и их транспортировки. Это достигается регулированием амплитуды и частоты импульсов бегущего электромагнитного поля: по информации датчика 15 и канала управления микропроцессора 18 станции распределенного управления 19, многополюсного электромагнитного аппарата 9 [6].

При обогащении труднообогатимых руд стабилизация качества концентрата достигается робототехнологическими гидроциклонами-сепараторами [5, 7, 8]. Сущность их работы заключается в том, что частицы пульпы в сливном патрубке гидроциклона 3 взаимодействуют с бегущим электромагнитным полем и радиационным давлением ультразвуковых колебаний (устройство 11).

Совместное воздействие бегущего электромагнитного поля и радиационного давления ультразвука приводит к тому, что ферромагнитные частицы измельченного материала продвигаются в сливном патрубке гидроциклона, а частицы пустой породы тормозятся ультразвуком. Эффективность встроенного интенсификатора (11) определяется не только за счет увеличения выхода готового класса, но и увеличением содержания железа в концентрате (датчик 16), при уменьшении потерь железа в хвостах (датчик 17).

Рассмотренные встроенные робототехнологические системы-интенсификаторы представляют собой локальные системы нижнего уровня адаптивного распределенного управления технологией обогащения и доводки концентрата, которые с локальными системами управления процессом флотации и управления песковыми насосами 6 с преобразователями частоты и асинхронными двигателями 7 позволяют производить суперконцентрат с содержанием 67,6% и выше.

Итак, в работе разработаны адаптивные импульсные системы микропроцессорного управления встроенными робототехнологическими устройствами флокулообразования, размагничивания пульп в технологической линии магнито-флотационного обогащения труднообогатимых руд. Предложенные авторами проектные решения могут быть использованы проектантами робототехнологического комплекса управления процессом дообогащения магнитного концентрата и производства суперконцентрата методами флотации.

Список литературы

1. Бізнес-план інноваційного проекту "розробка та впровадження енергоефективної і ресурсощадної технології попереднього збагачення дрібнодробленої руди методом сухої магнітної сепарації та технології магнітно-флотаційного доведення концентрату з метою постачання на внутрішній та зовнішній ринки металургійної сировини з вмістом заліза 69-70%. Організація дослідно-промислових дільниць та випуск дослідних партій продукції": К.: Ін-т електровзарювання ім. Є.О. Патона, 2002. – 46 с.

Автоматизація та управління процесами збагачення

2.Хорольський В.П., Хоцкіна В.Б. Принципи інтегрованого багаторівневого управління процесами збагачення руд // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. – 2002. – Вип.16(57). – С. 93–99.

3.Бабец Е.К., Хорольський В.П., Хорольская Т.В. Теоретические модели сложных технологических процессов и аппаратов обогатительной технологии // Науковий Вісник національного гірничого університету. – 2004. – №12. – С. 15–19.

4.Хорольський В.П. Адаптивные системы многоуровневого управления технологическими процессами переработки руд: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1989. – 40с.

5.Хорольський В.П. Интеллектуальная система управления обогатительной фабрики окисленных руд // Изв. вузов. Горн. журн. – 1992. – №10. – С. 37–41.

6.А.с. 902828 СССР, М.Кл.³ВО2С 23/00. Способ управления флокулообразованием пульпы и устройство для его осуществления / В.П. Хорольский (СССР). – 2903875/22-03; Заявлено 18.02.80. Оpubл. 07.02.82. Бюл. №5.

7.А.с. 580904 СССР, М.Кл.²ВО3С 1/02. Электромагнитный гидроциклонный сепаратор / В.П. Хорольский (СССР). – 292447189/22-03; Заявлено 20.06.75. Оpubл. 25.11.77. Бюл. №43.

8.А.с. 619205 СССР, М.Кл.²ВО3В 5/34, ВО3С 1/00. Песковая насадка электромагнитного гидроциклона / Л.Р. Тисменецкий, В.П. Хорольский (СССР). – 2409506/22-03; Заявлено 04.10.76. Оpubл. 15.08.78. Бюл. №30.

© Хорольский В.П., Хорольская Т.В., Бабец Е.К., 2005

Надійшла до редколегії 30.05.2005 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким

УДК 622.778-52

ИСЛАМ АБДЕЛЬХАМИД ЮСЕФ АЛЬ БОСТАНЖИ

(Украина. Днепропетровск, Национальный горный университет)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА КОНЦЕНТРАТА НА ВЫХОДЕ СЕКЦИИ ОБОГАЩЕНИЯ МАГНЕТИТОВЫХ РУД

Состояние вопроса. Украина обладает богатыми запасами магнетитовых руд, т.е. сырьем для производства железорудного концентрата. Обоганительные фабрики по его выработке состоят из секций обогащения, каждая из которых представляет собой, как правило, две полусекции, параллельно работающие на один сборный конвейер. Для каждой из полусекций состояние технологического оборудования и значения технологических переменных, в общем различно. В результате значения производительности по концентрату Q_1 и массовой доли железа Q_2 в концентрате β_1 и β_2 неодинаковы и изменчивы, что приводит к колебанию качества концентрата β_k , поступающего на склад.

107

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 24(65)