

Автоматизация та управління процесами збагачення

3. А.С. 963029 СССР, М. Кл³.G.08B.21/00. Устройство для выявления аварийных ситуаций / Е.К. Бабец, В.П. Хорольский, С.В. Бабец (СССР) – 3248731/18–24; заявлено 12.02.81% опубл. 30.09.82. Бюл. №36.

4. **Згуровский М.З.** Интегрированные системы оптимального управления и проектирования: Учеб. пособие. – К.: Выща шк., 1990. – 351с.

5. **Барский Л.А., Козин В.З.** Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. – 486с.

6. **Рвачев В.Л.** Геометрические приложения алгебры логики. К.: Техника, 1967. – 211с.

7. **Момот В.Е., Сироджа И.Б., Хорольский В.П.** Комбинированная статистическая модель технологического цикла обогатительной фабрики // Изв. вузов. Горный журнал. – 1977. – №7. – С.121–126.

8. **Арефьев Б.А.** Оптимизация инерционных процессов. – Л.: Машиностроение, 1969. – 160с.

9. **Тисменецкий Л.Р., Хорольский В.П.** Исследование и разработка критерия оценки качества работы гидроциклонов в условиях рудообогатительных фабрик // Исследование и промышленное применение гидроциклонов. Тез. докл. Первого симпозиума. Горький: 1981. – С.18–21.

10. **Хорольский В.П., Бабец Е.К.** Искусственный интеллект в системах управления сложными технологическими процессами // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб. – 2003. – №70. – С.44–51.

© Хорольский В.П., Хоцкина В.Б., Бабец Е.К., 2005

Надійшла до редколегії 18.12.2004 р.

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

УДК 622.179.14

О.В. ГРАЧЕВ,

В.Ф. ПОЖИДАЕВ, В.А. УЛЬШИН, доктора техн. наук

(Украина, Луганск, Украинский восточноукраинский университет)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПО ПРОИЗВОЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ

На фоне общего снижения качества добываемого угля его характеристики резко отличаются не только от шахты к шахте, но и от пласта к пласту. Неоднородность поступающего на обогащение сырья требует качественных систем управления процессом подготовки шихты. Использование шихты в углеобогащении на данный момент не нашло должного распространения, так как существующие методы не могут быть применены к условиям постоянно меняющегося сырья и так называемой работе "с колес", а также при переменном фракционном и гранулометрическом составе. Поэтому актуальна проблема

111

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 22(63)

Автоматизация та управління процесами збагачення

разработки такой системы управления процессом подготовки угольной шихты, которая основана на аналитическом аппарате в углеобогащении. При этом минимизируются объемы опробования, что немаловажно с экономической точки зрения.

В работах [1–7] заложены предпосылки для построения такой системы. Следует заметить, что ввиду недавнего решения некоторых задач, таких как аналитическое описание кривых распределения угля по фракциям и крупности, аналитическая модель извлечения продуктов разделения [1], не было разработано адаптированных методов расчета долевого участия углей различных групп в шихте. В дискретных моделях выбор оптимального варианта обычно сводится к организации полного перебора [2]. Алгоритм оптимизации естественно должен предусматривать непрерывную область изменения технологических параметров, что также соответствует их физическому смыслу [3].

Цель данной работы – обобщение современных представлений о процессах разделения и построение такой системы управления процессом подготовки угольной шихты, которая отвечала бы современному состоянию рынка, определяющему методы углеобогащения на фабриках.

Рассмотрим схему процесса подготовки угольной шихты как объекта управления.

Исходные данные можно разделить на несколько категорий, обусловленные сырьем (гранулометрическим и фракционным составом) и обусловленные технологической схемой фабрики (кривыми извлечения), а также критерием разделения.

Зная уравнения фракционного и гранулометрического состава и имея математическую модель работы фабрики в соответствии с выбранным критерием разделения, в качестве выходных данных получаем доленое участие углей в шихте, а также прогноз результатов разделения.

Рассмотрим поставленную задачу более подробно.

Известно [4], что данные фракционного состава адекватно описываются системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma(\rho) = F(\rho) = \frac{1}{1 + (a_0 + a_1 t) \sqrt{1-t}}, t = \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_k - \rho_0} \right)^2, \\ \Gamma(\lambda) = F(\lambda) = \frac{1}{1 + (b_0 + b_1 t) \sqrt{1-t}}, t = \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_k - \lambda_0} \right)^2, \\ A^d = U(\rho_{i-1}, \rho_i) = \frac{\Lambda(\Gamma_i(\rho_i)) - \Lambda(\Gamma_{i-1}(\rho_{i-1}))}{\Gamma_i(\rho_i) - \Gamma_{i-1}(\rho_{i-1})}, \end{array} \right.$$

Автоматизация та управління процесами збагачення

где a_0, a_1, b_0, b_1 – параметры распределения.

Гранулометрический состав можно определить одним из зарекомендовавших себя способов в зависимости от точности подачи исходной информации [5].

Математическое описание схемы фабрики невозможно без аналитических уравнений, описывающих исходное сырье, и оператора, описывающего действие обогатительного аппарата на сырье.

Технологическую схему удобно представлять в виде направленного графа. Каждый аппарат – это узел такого графа, который имеет определенное количество входов и выходов. Связи между узлами и направления показывают движение продуктов на фабрике. Ключевым элементом этой модели является узел, имея в аналитическом виде вход и аналитический оператор, преобразующий его, получаем в аналитическом виде выход, который будет входом для другого узла, поэтому для построения модели фабрики достаточно построить всего один узел.

При построении модели продукт представляется в виде определенной информационной структуры, содержащей параметры продукта. Например: Q – масса сухого продукта, т; V – объем воды, м^3 ; $\gamma_{i\bullet}$ – участие в продукте i -го класса, %; $A_{i\bullet}$ – зольность i -го класса, %; $\gamma_{\bullet j}$ – участие в продукте j -ой фракции, %; $A_{\bullet j}$ – зольность j -ой фракции, %, здесь $i=1\dots n$, $j=1\dots m$. Масса Q и объем V рассчитываются за единицу времени – час.

Узлы можно пронумеровать (упорядочить), лучше ближе к тому порядку, в котором проходит исходное сырье. Если в таком графе есть только связи, направленные от узла с меньшим номером к узлу с большим номером, то продукты выхода схемы с таким графом можно рассчитать. Для этого нужно последовательно (по номерам) вычислять выходы узлов.

В тех случаях, когда нельзя, просчитав последовательно один раз схему, получить все продукты выходов схемы, так как для расчета в некоторых узлах недостаточно данных, следует применить рекуррентную схему расчетов. Для этого необходимо выходы узлов задать приближенно. Это может быть просто нулевой продукт, т.е. $Q=0$ и $V=0$. Рассчитав последовательно всю схему, получим нужный нам продукт выхода из этого узла. Если точность, с которой он отличается от предполагаемого продукта, недостаточна, то необходимо производить последовательный расчет с новым предполагаемым продуктом до тех пор, пока точность не достигнет заданную.

Для более конкретной модели узла необходимо определить модель извлечения. Математическое описание кривых разделения следует из решения уравнение случайного блуждания по вертикальной оси (по отношению к

Автоматизация та управління процесами збагачення

нижньої поверхності апарата), записаного в виді рівняння Колмогорова-Фоккера-Планка для відносительної концентрації:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + V \frac{\partial c}{\partial y}$$

Здесь $c = c(t, y)$ – значення доли частинок в момент часу t в точці y . Ось Oy вважаємо направленою вгору; D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$, V – коефіцієнт сноса, відповідний вертикальній складовій швидкості частинки, $\text{м}/\text{с}$. Оскільки суміш неоднорідна за своїми фізичними властивостями, то для кожного класу (або фракції) можна записати рівняння випадкового блукання за своїми умовами проходження частинок крізь поверхню вилучення. Це подія відбувається з деякою ймовірністю $p(x)$.

Якщо позначити безрозмірний час як $\tau = V^2 t / 4D$, допоміжну функцію як $K(x) = \tau \cdot g(2 - g)$, де $g = \frac{1-L}{L} \cdot \frac{p(x)}{1-p(x)} \theta$, а проміжну функцію як $f(x) = (1 - e^{-K(x)}) / K(x)$, то вилучення матеріалу з характеристикою x можна записати як

$$\varepsilon(x) = 1 - f(x)$$

Функція $p(x)$ задається для кожного апарата згідно його фізичної моделі.

Модель вузла збагачувальної фабрики ґрунтується на найпростішому рівнянні балансу $Q = Q_1 + Q_2$, де Q – початковий підхід апарата; Q_1, Q_2 – підхід для наступних збагачувальних апаратів або кінцеві продукти розподілу. Тоді будь-який збагачувальний апарат однозначно описується трьома величинами Q, F, ε , де F – функція розподілу вугля за фракціями (для апаратів класифікації – функція розподілу вугля за кружністю). Нехай $\varepsilon(x)$ визначає частку продукту, який піде в Q_1 . Тоді $Q_1 = \gamma_1 Q$; $Q_2 = \gamma_2 Q$; $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$. Оскільки відома функція розподілу вугля за фракціями, то $\gamma_1 = \int_0^{\infty} F'(x) \varepsilon(x) dx$, $\gamma_2 = \int_0^{\infty} F'(x) (1 - \varepsilon(x)) dx$. Тоді функція розподілу

Автоматизация та управління процесами збагачення

$$\varepsilon_k = \frac{\eta_{kk}}{\eta_k} = \frac{1}{F_u(\mu)} \left[F_u(\mu) - \int_{\lambda_0}^{\mu} f_u(\lambda) q(\lambda) d\lambda \right],$$

а засорение концентрата посторонними фракциями по отношению к его выходу

$$\alpha_k = \frac{\eta_{nk}}{\eta_{kk} + \eta_{nk}} = \frac{\eta_{nk}}{\eta_K} = \frac{1}{F_u(\mu)} \left[1 - F_u(\mu) - \int_{\mu}^{\lambda_m} f_u(\lambda) q(\lambda) d\lambda \right].$$

Извлечение более тяжелого продукта по отношению к его содержанию в исходном

$$\varepsilon_n = \frac{\eta_{nn}}{\eta_n} = \frac{1}{1 - F_u(\mu)} \int_{\mu}^{\lambda_m} f_u(\lambda) q(\lambda) d\lambda,$$

а засорение породы концентратом по отношению к ее выходу, т.е. процент полезного продукта в отходах,

$$\alpha_n = \frac{\eta_{nk}}{\eta_n} = \frac{1}{1 - F_u(\mu)} \int_{\lambda_0}^{\mu} f_u(\lambda) q(\lambda) d\lambda,$$

потери полезного продукта по отношению к его содержанию в исходном

$$\frac{\eta_{nk}}{\eta_K} = \frac{1}{F_u(\mu)} \int_{\lambda_0}^{\mu} f_u(\lambda) q(\lambda) d\lambda$$

Указанные выше выражения являются составной частью всевозможных критериев эффективности. Следовательно, и сами эти критерии могут быть выражены с помощью предложенного метода.

Приведенные формулы однозначно определяют алгоритм вычисления всех требуемых расчетных показателей. Таким образом, кривая разделения вместе с фракционным анализом исходного сырья достаточно полно отражает и качественные и количественные характеристики разделения смеси по некоторой граничной плотности разделения. Проведенный выше анализ можно обобщить и на случай разделения на три продукта.

Оценка эффективности обогащения (критерий) в общем случае не влияет на метод использования предложенной модели, поэтому может быть любой. Примером технологического критерия является минимизация потерь сырья в

Автоматизация та управління процесами збагачення

отходах. Кроме этого можно взять экономический критерий или как комбинированный – технико-экономический критерий. Более подробно различные критерии обогащения рассмотрены в работах [6,7]

Рассмотрим критерий, основанный на минимизации взаимозасорений. Он позволяет учитывать реальные результаты обогащения. Если сопоставить кривые элементарных зольностей для концентрата λ_k и породы λ_n на одном графике с элементарной зольностью исходного λ_u , получим следующее: кривая λ_k вначале повторяет кривую λ_u , но затем, вследствие погрешностей процесса разделения, эти кривые расходятся, образуя так называемый треугольник ошибок. Второй треугольник образуется аналогичным образом кривой элементарных зольностей породы λ_n и кривой λ_k . Потеря золы породой выражается одной площадью, а излишек золы в концентрате вследствие несовершенства работы обогатительного аппарата – другой. Так как общее количество зольных единиц в концентрате и породе остается неизменным, площади обоих треугольников ошибок равны между собой.

Чем меньше площади треугольников ошибок, тем точнее процесс разделения в машине. В идеальном случае, когда площади стремятся к нулю, кривая элементарных зольностей концентрата λ_k сливается с кривой λ_u от ее начала до точки 0, а кривая элементарных зольностей породы λ_n сливается с кривой от точки 0 до конца кривой λ_u . То есть, при идеальном разделении кривые λ_k и λ_n образуются из кривой λ_u путем разделения ее точкой на две части.

Практическое вычисление величины площади треугольников ошибок графическим методом не может быть использовано при реализации на ЭВМ. Поэтому здесь необходима формализация исходной информации для этих вычислений.

Если после разделения критический концентрат и породу подвергнуть фракционному анализу, то мы сможем получить данные для определения двух функций $\lambda_k(x)$ и $\lambda_n(x)$ в добавление к исходной функции $\lambda_u(x)$. Пусть при этом выход концентрата был равен γ_k , выход породы тогда, соответственно, равняется $1 - \gamma_k$.

Теперь задача состоит в отыскании непрерывных преобразований кривых. Для этого нужно, чтобы для концентрата при увеличении граничной зольности к максимальному значению выход стремился не к единице, а к величине γ_k . С другой стороны кривая элементарных зольностей пород должна начинаться не с выхода , а с выхода . Если обозначить через искомую площадь

Автоматизация та управління процесами збагачення

треугольников ошибок, то ее значение равно:

$$\Delta = \int_0^{\gamma_k} \left[\lambda_k \left(\frac{x}{\gamma_k} \right) - \lambda_u(x) \right] dx, \quad \Delta = \int_{\gamma_k}^1 \left[\lambda_u(x) - \lambda_n \left(\frac{x - \gamma_k}{1 - \gamma_k} \right) \right] dx,$$

, или

причем оба эти выражения равны между собой.

Традиционно задача шихтования формулируется следующим образом. Пусть имеется n углей, каждый со своими характеристиками $\gamma_i = \gamma_i(\rho)$, $\lambda_i = \lambda_i(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Требуется выбрать доли участия p_i каждого угля, чтобы при этом была получена смесь, характеристики которой $\gamma = \gamma(\rho)$, $\lambda = \lambda(\gamma)$ менее всего отличались бы от заданных $\gamma = h(\rho)$, $\lambda = f(\gamma(\rho))$. Если нам известны требуемые характеристики шихты, то это означает, что нам известны функции $h(s)$ и $f(\rho)$. Для каждого вектора $\bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ мы можем построить функции $\gamma(\rho)$ и $\lambda(\gamma(\rho))$. Тогда близость полученной шихты к требуемой можно оценить с помощью величины

$$L(p_1, p_2, \dots, p_n) = A \|\lambda - f\| + B \|\gamma - h\|,$$

где $\|\lambda - f\|$ и $\|\gamma - h\|$ – норма разностей двух функций в пространстве L_2 ; A и B – коэффициенты, задающие относительную значимость близости функций распределения и близости функций зольности от выхода или от плотности. Тогда наилучший вектор $\bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, где $\sum p_i = 1$, будет тот, который обеспечивает минимум функционала $L(\bar{p}) \Rightarrow \min$.

$$L(\bar{p}) = A \int_0^{\infty} [\lambda(\rho) - f(\rho)]^2 d\rho + B \int_0^{\infty} [x(\rho) - h(\rho)]^2 d\rho.$$

Поэтому p_1, p_2, \dots, p_n есть решение системы $\frac{\partial L}{\partial p_i} = 0, i = 1, 2, \dots, n$.

Обозначим через a_{ij} и b_i интегралы $a_{ij} = \int_0^{\infty} \gamma_i(\rho) \gamma_j(\rho) d\rho$, $b_i = \int_0^{\infty} h(\rho) \gamma_i(\rho) d\rho$.

Обозначим также $J_{li}(\bar{p}) = \int_0^{\infty} [\lambda(\rho) - f(\rho)] \frac{\partial \lambda}{\partial p_i} d\rho$.

Решение системы

$$AJ_{1i}(p_1, p_2, \dots, p_n) + B \left(\sum_j p_j a_{ij} - b_i \right) = 0, i = 1, 2, \dots, n$$

определяет необходимые значения долей участия каждого угля в искомой смеси.

Таким образом получены основные положения для создания системы управления процессом подготовки угольной шихты. Сформулирован алгоритм решения задачи управления процессом подготовки угольной шихты, который не зависит от критерия оценки результатов обогащения угля и учитывает особенности технологической схемы. В дальнейшем с введением на множестве технологических схем классификации отдельных узлов фабрики с параметрами одного физического принципа разделения станет возможным сравнение технологических схем на уровне численного моделирования, что создает предпосылки для обоснования выбора оптимальных схем.

Список литература

1. **Пожидаев В.Ф., Пилов П.И., Полулях А.Д., Шандар С.В.** Аналитическое описание распределения зольности угля по фракциям // Научно-технічний збірник. Збагачення корисних копалин. – Днепропетровск: НГА. 2000г. – №8 (49)
2. **Ульшин В.А., Зубов Д.А.** Оптимальная дискретная система управления объектами углеобогащительного производства с нестационарными возмущающими воздействиями // Сб. науч. тр. НГА Украины. – 2001. – №11. – Т.2. – С.26–30.
3. **Ульшин В.А., Зенцев В.Н., Ковалева А.И.** Автоматическая оптимизация комплекса процесса обогащения угля // Системы автоматизации, средства автоматики и связи для угольных предприятий: Сб. науч. тр. – М.: Гипроуглеавтоматизация, 1990. – С. 124–137.
4. **Формализация результатов разделительных процессов в углеобогащении:** Монография / **В.К. Гарус, О.В. Грачев, В.Ф. Пожидаев, О.Д. Полулях.** – Луганск: НВФ "Стек", 2003. – 176 с.
5. **Пилов П.И., Святошенко В.А.** Управление гравитационными процессами углеобогащения на основе их сепарационных характеристик // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2000 – №10(51). – С.27–37.
6. **Павлович В.И., Фоменко Т.Г., Погарцева Е.М.** Определение показателей обогащения углей. – М.: Недра, 1966. – 374 с.
7. **Коткин А.М., Геращенко К.Д.** Определение показателей выхода и качества товарных продуктов обогащения // Обогащение и брикетирование угля. – 1972. – №6. – С. 76 – 79.

© Грачев О.В., Пожидаев В.Ф., Ульшин В.А., 2005

*Надійшла до редколегії
Рекомендовано до публікації*