

В.Н. Анисимов

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБОГАЩЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

Рассмотрены вопросы по определению фундаментальных положений разработки систем управления и разработки математических моделей, расчету плотности разделения, амплитуды и частоты пульсаций, временных параметров, количества транспортной и подрешетной воды в отсадочной машине.

В угольной промышленности порядка 60 % добытого угля подвергается обогащению, где теряется наибольшее количество горючей массы. Одной из главных причин такого положения является отсутствие систем управления, а следовательно, надлежащего управления, как отдельными обогатительными аппаратами, так и всем процессом обогащения в целом. Поскольку наибольшее количество угля обогащается отсадкой, то на этот процесс приходится наибольшее количество потерь.

Для разработки системы управления технологическим процессом обогащения угля выполнен комплекс исследований теории и практики, процесса и существующих систем регулирования. В результате данных исследований определено несколько фундаментальных научных положений:

Исходя из наличия уровня технических средств и методов контроля параметров угля, в технологической схеме обогащения, в качестве объекта управления можно принимать весь комплекс оборудования, который технологически связан с рассматриваемым аппаратом и предшествует ему, ограниченный точками контроля входных и выходных параметров осуществляя, таким образом, формирование объекта управления по технологической связности.

Формализацию объекта управления осуществлять на основании взаимосвязанного представления характеристик угля, конструктивных параметров аппаратов, технологического режима и при использовании разделительного параметра – различие плотностей угля и породы создание требуемой плотности разделения выполнять на основании полной фракционной характеристики угля соответствующего машинного класса и погрешности разделения для данного технологического аппарата.

Динамика изменения характеристик сырья и режимных параметров объекта, систему управления формировать из двух взаимосвязанных частей. Первая часть – накопление характеристик и их обработка, которые представляются в виде баз данных, а так же с выдачей наименования и значения критерия управления. Вторая часть – система управления формализованной моделью объекта с отработкой управляющих воздействий и их реализация на физическом объекте, обеспечивающая получение требуемого критерия.

В разработанной системе управления технологическим процессом обогащения неизменным условием явилось то, что ее построение осуществлено в зависимости от характеристик обогащаемого материала, с учетом режимных и конструктивных параметров выделенного объекта. Объект полностью формализован комплексом взаимосвязанных математических модулей. Процесс управления реализуется в четыре этапа отдельными программными модулями. Вначале определяется фракционная характеристика угля, поступающего в схему обогащения, и отслеживается по составляющим объекта. На втором этапе по данным фракционной характеристики вычисляются значения показателей продуктов и определяется тип критерия управления и его численные значения. На третьем этапе вычисляются значения управляющих воздействий, при которых данный критерий будет реализован. Полученные значения управляющих воздействий локальными системами регулирования отрабатываются на реальном объекте. Суть подхода в реализации управления заключается в том, что функционируют как бы два объекта. Один представлен математически, на вход которого поступает численное значение характеристики угля, а на выходе значение критерия (технологические показатели). А второй – реальный, на вход которого поступает уголь, подлежащий обогащению, а на выходе – продукты заданного качества, значения которых равны значениям на выходе модели.

Уголь, подлежащий обогащению, представлен смесью угольных и породных частиц, которые отличаются по плотности и крупности. Используя различия плотностей, осуществляется разделение – обогащение рядового угля на легкую (угольную) и тяжелую (породную) части, которые образуются на решетке отсадочной машины в результате периодического действия восходящих и нисходящих потоков разделительной среды, обусловленного работой приводного механизма, в последних типах отсадочных машин это воздушные пульсаторы и количества транспортной и подрешетной воды.

На основании фракционной характеристики рядового угля определяется вид критерия и его численные значения, а также плотность разделения, количество транспортной и подрешетной воды, при которых необходимо осуществлять процесс.

Плотность разделения определяется по следующей методике.

Определяется потенциальная зольность $A_{(κ+nn)}^d$ (общая зольность легких и промежуточных фракций) по формуле

$$A_{(κ+nn)}^d = \frac{\gamma_1 A_1^d + \gamma_2 A_2^d}{\gamma_1 + \gamma_2}. \quad (1)$$

Если $A_{(κ+nn)}^d \leq A_{κз}^d$, где $A_{κз}^d$ – заданная зольность концентрата, тогда

- выход концентрата – $\gamma_{κ} = \gamma_1 + \gamma_2$,
- зольность концентрата – $A_{κ}^d = A_{(κ+nn)}^d$.

При этом плотность разделения принимается $\delta_{рз} = 1800 \text{ кг/м}^3$.

Если $A_{(κ+nn)}^d > A_{κз}^d$, то рассчитывается количество промежуточной фракции, необходимое для отбора в концентрат.

Промежуток плотностей от $\delta_1 = 1500 \text{ кг/м}^3$ до $\delta_2 = 1800 \text{ кг/м}^3$ и выход промпродукта γ_p разбиваются на n интервалов, тогда для плотности и для выхода соответственно можно записать:

$$\delta_p = \frac{\delta_2 - \delta_1}{n}, \quad \gamma_p = \frac{\gamma_{mn}}{n}.$$

При этом зольность интервалов равна зольности промпродукта $A_p^d = A_{mn}^d$.

Текущий выход концентрата равен сумме базового выхода концентрата (из фракционной характеристики) и приращению интервалов – $\gamma_n = \gamma_k + \gamma_{pi}$.

Потенциальная зольность концентрата определяется по выражению:

$$A_{kn}^d = \frac{\gamma_k A_k^d + \gamma_{pi} A_{nn}^d}{\gamma_k + \gamma_{pi}}. \quad (2)$$

При постепенном накоплении данных, когда $A_{kn}^d > A_{kz}^d$, определяется численное значение параметра i и рассчитывается выход и зольность породы.

Выход породы

$$\gamma_n = \gamma_n + \sum_{j=i}^n \gamma_p, \text{ \%}.$$

Зольность породы

$$A_{3n}^d = \frac{\left(\sum_{j=i}^n \gamma_p \cdot A_p^d + \gamma_{3n} \cdot A_n^d \right)}{\sum_{j=i}^n \gamma_p + \gamma_{3n}}, \text{ \%}. \quad (3)$$

Плотность разделения определяется как

$$A_n^d = \frac{\left(\sum_{j=i}^n \gamma_p A_{nn}^d + \gamma_n A_{n\delta}^d \right)}{\sum_{j=i}^n \gamma_p + \gamma_n}, \text{ кг/м}^3, \quad (4)$$

где k_{np} – корректирующий коэффициент плотности разделения, учитывающий неконтролируемые и случайные параметры объекта управления.

По рассчитанной плотности разделения определяется требуемая частота пульсаций в ОМ, количество транспортной и подрешетной воды.

Амплитуда пульсаций принимается в зависимости от конструктивных особенностей отсадочной машины и крупности обогащаемого угля. Существующие методы определения ее величины являются удовлетворительными.

Из анализа процесса обогащения, а также с учетом характеристик обогащаемого материала, режимных и конструктивных параметров машины, полу-

чено аналитическое выражение для расчета частоты пульсаций, при которых в процессе работы системы реализуется требуемая квазиплотность разделения.

При выводе уравнения для расчета частоты пульсаций учитывались следующие параметры:

A – работа, которую необходимо произвести при восходящем цикле смеси в разделительном отделении, Дж, $Q_{не}$ – количество подрешетной воды, которое подается в машину, кг/с, δ – плотность разделения, при которой будут получены требуемые и возможные показатели процесса, кг/м³.

Функциональная зависимость для принятых параметров следующая:

$$\omega = k(A^a Q_{не}^b \delta^c), \text{ с}^{-1}. \quad (5)$$

На основании теории размерностей получено выражение в явном виде:

$$\omega = \frac{k(A^2 \delta^3)}{Q_{не}^5}, \text{ с}^{-1}. \quad (6)$$

Работа одного цикла, а точнее, восходящего цикла складывается из работы подъема на высоту h воды, угля, породы и постели. В этой связи правомерно записать

$$A = V_{см} \delta_c g h + LB h_n \delta_{nn} g, \text{ Дж}, \quad (7)$$

где $V_{см}$ – разделительный объем смеси ОМ, который образуется при восходящем цикле, м³/с; δ_c – плотность смеси рядового угля и воды в разделительном объеме, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – амплитуда пульсаций, м; L – длина решета ОМ, м; B – ширина решета, м; h_n – высота постели, м; δ_{nn} – насыпная плотность породы, кг/м³; k – коэффициент, учитывающий неучтенные параметры.

Объем смеси, проходящей через разделительное отделение отсадочной машины, определяется из выражения:

$$V_{см} = V_{исх} + V_{тр} + V_{нод}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (8)$$

где $V_{исх}$ – объемное количество исходного материала, находящегося в разделительном отделении отсадочной машины в единицу времени, м³/с; $V_{тр}$ и $V_{нод}$ – количество транспортной и подрешетной воды в разделительном объеме отсадочной машины в единицу времени, м³/с.

Составляющие последнего выражения определим следующим образом:

$$V_{исх} = \frac{1000Q/3600}{1000\delta_n}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (9)$$

где δ_n – насыпная плотность рядового угля, кг/м³, Q – производительность отсадочной машины по исходному питанию, т/ч

$$V_{mp} = \frac{(1000Q/3600)q_{mp}}{\delta_{ж}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (10)$$

где q_{mp} – удельный расход транспортной воды, принимается по нормам, д.е., $\delta_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³.

$$V_{под} = \frac{(1000Q/3600)q_{пв}}{\delta_{ж}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (11)$$

где $q_{пв}$ – удельный расход подрешетной воды также определяется по нормам, д.е.

Режимные параметры процесса отсадки, конструктивные параметры отсадочной машины, а также свойства полезного ископаемого и разделительной среды, которые не использованы при разработке математической модели, учитываются коэффициентом k (см. выражение 6). Значение коэффициента k определено экспериментально. Для реального технологического процесса, при конкретных значениях параметров, таких как частоты пульсаций, требуемой плотности разделения, исходной нагрузке, поступающей на отсадочную машину расходу транспортной и подрешетной воды, насыпной плотности постели, рядового угля и воды рассчитано численное значение коэффициента k .

Полученные модели, а именно, зависимость частоты пульсаций при изменении исходной производительности, требуемой плотности разделения и количества подаваемой подрешетной воды проверенна на их адекватность реальному объекту.

В процессе отработки управляющих воздействий и реализации качественного управления определены временные параметры объекта. Исходным аппаратом, от которого происходит отсчет времени, являются конвейерные весы, фиксирующие количество материала, поступающего в процесс обогащения. Как правило, весы устанавливаются на некотором расстоянии от разгрузочного барабана конвейера.

Исходный уголь на ОМ поступает по двум каналам. С конвейера уголь проходит течку и попадает на гидрогрохот. Отделившийся на нем подрешетный продукт через загрузочный желоб поступает на дешламатор, из которого надрешетный продукт по загрузочному устройству попадает в ОМ.

Общее время запаздывания при выдаче управляющих воздействий состоит из времени прохождения материала по загрузочному конвейеру, течке, гидрогрохоту, загрузочному устройству дешламатора, дешламатору, загрузочному устройству ОМ – это первый канал.

Общее время запаздывания определяется выражением

$$t_{об} = t_k + t_t + t_{gr} + t_{з\delta} + t_{ду} + t_{зм}, \text{ с}, \quad (12)$$

где t_k – время пребывания материала на конвейере, с; t_t – время движения материала по течке, с; t_{gr} – время движения материала по грохоту, с; t_{3d} – время движения по загрузочному устройству дешламатора, с; t_{du} – время движения по дешламатору, с; t_{3m} – время движения по загрузочному устройству ОМ, с;

В связи с тем, что объект обладает некоторой динамической характеристикой, а также то, что отработка управляющих воздействий осуществляется исполнительными механизмами, которые также не идеальны, в систему введена обратная связь по контролю зольности породы. Выбор данного параметра обусловлен тем, чтобы в процессе обогащения исключить потери горючей массы. В качестве критерия оптимальности был выбран минимум расхождения между заданной зольностью и полученной, а также минимум затрат на обогащение. Для реализации данного критерия использован ЛКГ регулятор.

Система прошла испытания на действующей обогатительной фабрике в режиме динамики отработки управляющих воздействий и относительно получения численных значений показателей продуктов. Отклонение по количеству и качеству в целом отличается во втором знаке дробной части. Результаты работы системы управления технологическим процессом убедительно подтверждают правомочность принятых научных положений

Реализация научных положений позволила разработать систему управления технологическим процессом обогащения угля отсадкой. Математическая база системы управления представлена отдельными взаимосвязанными математическими моделями, выполнена в физических параметрах, в соответствии с функциональной моделью объекта управления, что является рациональным по сравнению с тем, как это осуществляется в ТАР, где полученные математические зависимости переводятся в действительную и мнимую области и представляются в виде звеньев, а затем на их основе строится САР.

Система управления является адаптивной в отношении выбора требований к получаемым продуктам обогащения и изменяющимся характеристикам обогащаемого материала, гибкой в отношении выбора критерия управления.

На основании математической базы разработана система управления в виде программы модульного типа.

Проведенные промышленные испытания системы в производственных условиях показали, что фактически исключаются потери горючей массы с отходами, снижаются затраты на обогащение и получаются продукты заданного качества. Выполненная работа является базовой для построения системы управления любым из блоков технологического процесса обогащения, а также всей технологической схемы.