ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ

В. И. Салыга

Харьков

Интенсификация основных технологических процессов на обогатительных фабриках, повышение производительности оборудования и сокращение потерь угля в отходах обогащения неразрывно связаны с внедрением средств автоматического контроля и управления. Особое значение придается флотации углей, как наиболее эффективному способу обогащения каменноугольной мелочи.

Работы по автоматизации флотопроцесса в основном посвящены разработке и внедрению локальных систем контроля и регулирования таких параметров, как расход и плотность пульпы и расход реагентов. Однако эти системы не учитывают связей, при помощи которых параметры соединяются между собой через регулируемый объект. Такую автоматизацию можно считать частичной, так как она не исключает взаимного влияния регулируемых величин. Оператор, руководствуясь часто интуитивными оценками, пытается управлять процессом, поддерживая показатели входных параметров в заданном диапазоне, несмотря на систематическое смещение внешних факторов. Этим в какой-то мере можно объяснить значительные дисперсии выходных показателей процесса [1].

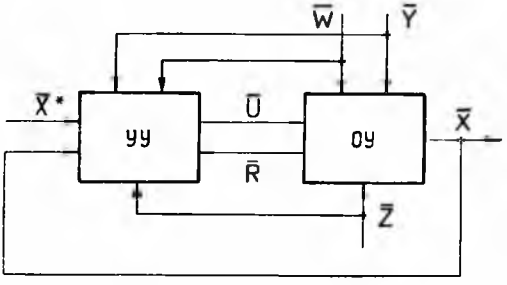
Исследования математического описания процесса флотации углей как управляемого объекта и развитие теории оптимальных автоматических систем позволяют впервые поставить задачу синтеза оптимального управления флотопроцессом. Промышленный флотопроцесс представляет собой сложную многомерную систему. Своеобразность постановки задачи оптимального управления обусловлена некоторыми особенностями, характеризующими процесс флотации углей. Главными из них являются многофакторность, наличие на входе и выходе объекта неконтролируемых параметров, случайный характер основных воздействий, нелинейные зависимости между параметрами, значительные запаздывания по основным каналам управления, распределенность параметров и т. д.

Структурная схема системы автоматического управления, состоящей из управляемого объекта (ОУ) и управляющего устройства (УУ), в общем виде представлена на рисунке. Совокупность переменных или обобщенных координат, определяющих состояние системы управления процессом флотации угля, будем классифицировать следующим образом [1, 2].

1. Векторная переменная, определяющая показатели конечных продуктов флотопроцесса $\overline{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_n)$. Совокупность X_i характеризует состояние выхода объекта, т. е. качество выходных продуктов: зольность концентрата ($A^c_к$, %) и хвостов ($A^c_{хв}$, %) на выходе i-й фло-

томашины. Вектор $\overline{X}$ можно рассматривать как множество векторов $\overline{A}^c_{\text{к}}$ и $\overline{A}^c_{\text{хв}}$, т. е. $\overline{X} = \{A^c_{\text{к}},\ A^c_{\text{хв}}\}$. Таким образом, задание векторной переменной $\overline{X}$ эквивалентно заданию двух векторных переменных $\overline{A}^c_{\text{к}} = (A^c_{\text{к}_1}, A^c_{\text{к}_2}, \ldots, A^c_{\text{к}_n})$ и $\overline{A}^c_{\text{хв}} = (A^c_{\text{хв}_1},\ A^c_{\text{хв}_2},\ \ldots,\ A^c_{\text{хв}_n})$.

2. Векторная переменная, определяющая качественно и количественно поступающее на флотацию сырье $\overline{Y} = (Y_1, Y_2, \ldots, Y_n)$. Составляющие Y_i этого вектора представляют собой множества нескольких переменных, характеризующих в общем случае пульпу, поступающую на i-ую флотомашину. Элементы этих множеств представляют собой количество поступающей пульпы ($Q_{\text{п}}$, $м^3/ч$), ситовый (С, %) и фракционный (Ф, %) составы исходного шлама, зольность (A^c_u, %).



3. Векторная переменная, определяющая входные воздействия, т. е. изменения в режиме работы флотоотделения $\overline{W} = (W_1,\ W_2, \ldots, W_n)$. Составляющие этих векторов представляют собой некоторые множества, элементы которых W_{ij} могут определять, например, количество работающих флотомашин и других технологических агрегатов, тип технологической схемы флотации, тип реагентов и другие факторы, которые могут оказать влияние на протекание флотопроцесса.

4. Векторная переменная, определяющая возмущающие воздействия флотопроцесса $\overline{Z} = (Z_1, Z_2, \ldots, Z_n)$. Составляющие этих векторов Z_i представляют собой некоторые множества, элементы которых являются случайными функциями времени. Сюда могут быть отнесены случайные примеси в исходной пульпе, изменение характеристик оборудования, изменение в режимах работы отдельных агрегатов, случайные колебания энергетических показателей и т. д.

В общем случае некоторые из перечисленных воздействий могут контролироваться, а информация о них поступать в управляющее устройство. Остальные неконтролируемые возмущения можно рассматривать как помехи и их влияние определять по флуктуациям выходной координаты $\overline{X}$.

5. Векторная переменная, определяющая состояние или координаты регулирующих органов флотопроцесса $\overline{R} = (R_1,\ R_2, \ldots,\ R_n)$. Координатами регулирующих органов могут быть, например, положения дроссельных заслонок подачи пульпы из радиального сгустителя, подачи осветленной воды в общий смеситель и подачи реагентов, положения шиберов на пульподелителе и т. д.

6. Векторная переменная, представляющая собой управляющее воздействие, поступающее от устройства УУ $\overline{U} = (U_1, U_2, \ldots, U_n)$. Составляющие этого вектора U_i — множество управляющих воздействий, относящихся, например [1], к регулирующим устройствам плотности пульпы (δ, $г/л$) и расхода реагентов (Q_p, $кг/т$).

Таким образом, векторная переменная $\overline{R}$ определяет фактическое состояние координат регулирующих органов, а $\overline{U}$ — выражает собой множество требуемых значений координат.

Объект управления ОУ характеризуется зависимостью выходной величины $\overline{X}$ от входных. Выходная величина символически может быть представлена в следующем виде:

$$\overline{X} = \overline{F}(\overline{Y}, \overline{W}, \overline{Z}, \overline{R}, \overline{U}). \quad (1)$$

В общем случае $\overline{F}$ представляет собой оператор или закон соответствия между двумя множествами функций.

Эффективность ведения флотопроцесса оценивается качеством получаемых продуктов и их выходом. На первом этапе построения системы оптимального управления процессом флотации угля функция цели может быть сформулирована следующим образом: получение оптимальным образом максимальной величины зольности хвостов при заданном значении зольности концентрата [3]. Цель управления можно рассматривать как достижение экстремума некоторого функционала Q-критерия оптимальности. В общем случае критерий оптимальности зависит и от задающего воздействия $\overline{X}^*$, представляющего собой «инструкцию» о требуемом состоянии выхода объекта:

$$Q(\overline{X}, \overline{X}^*, \overline{Y}, \overline{W}, \overline{Z}, \overline{R}, \overline{U}) = \text{extremum}; \quad (2)$$

$$\overline{X} \in \Omega(\overline{X}); \ \overline{Y} \in \Omega(\overline{Y}); \ \overline{U} \in \Omega(\overline{U}), \quad (3)$$

где $\Omega(\overline{X})$, $\Omega(\overline{Y})$, $\Omega(\overline{U})$ — области изменения соответствующих векторных переменных.

Алгоритм оптимального управления флотопроцессом или оптимальная стратегия управляющего устройства выражается следующей зависимостью:

$$\overline{U} = \overline{K}(\overline{X}, \overline{X}^*, \overline{Y}, \overline{W}, \overline{Z}, \overline{R}), \quad (4)$$

где $\overline{K}$ — также некоторый функционал.

В связи со сложностью и специфичностью объекта управления целесообразно общую задачу оптимального управления процессом флотации расчленить на ряд частных. Соответственно общий алгоритм управления (4) может быть представлен совокупностью алгоритмов, а вся система — рядом подсистем.

Сформулируем некоторые частные задачи оптимального управления флотопроцессом: оптимальное управление протеканием процесса флотации на отдельных объектах — флотомашинах; оптимальное управление потокораспределением пульпы в сети флотоотделения; оптимальное определение характеристик управляемого объекта, в частности, вероятностных характеристик флотомашины.

Некоторые результаты решений первой задачи достаточно подробно изложены в работе [1]. В качестве критерия оптимальности можно потребовать такого подбора вектора $\overline{X}$, чтобы функция $Q_1(\overline{X})$ достигла максимума, но при этом значение функции $Q_2(\overline{X})$ не отличалось бы в процентном отношении более чем на ε_2 от установленной величины $(\overline{X}^*)$, т. е. добиться максимальной зольности хвостов при заданном значении зольности концентрата [3]. Другим критерием оптимальности может служить например, критерий качества переходных процессов.

Использование второго критерия позволит обеспечить минимизацию динамических отклонений показателей флотопроцесса. При решении данной задачи могут быть применены вариационные методы, в частности, принцип максимума Л. С. Понтрягина и метод динамического программирования Р. Беллмана.

Вторая частная задача предусматривает исследование методов решения задач синтеза оптимального управления потокораспределением пульпы

в сложных сетях флотоотделений. При этом на первом этапе должно быть получено математическое описание установившихся и переходных процессов потокораспределения, математическое описание топологической структуры сети. Критерием оптимальности при синтезе системы управления может служить минимум энергозатрат. Решение данной задачи требует выбора и обоснования алгоритмов оптимального по энергозатратам управления и оптимальной системы регулирующих органов.

Решение третьей частной задачи — определение параметров и динамических характеристик (идентификация) процесса флотации во многом определяет структуру и качество работы автоматической системы управления. Одной из основных проблем, возникающих при синтезе САУ, является выбор и реализация метода определения текущих динамических характеристик объекта. Методы экспериментального определения динамических характеристик можно разделить на три группы: временные (использующие переходные процессы), частотные и статистические. Процесс флотации углей характеризуется наличием случайных воздействий. Поэтому практический интерес представляет применение статистических методов. При этом динамические характеристики могут быть получены в режиме нормальной эксплуатации, не прибегая к специальным пробным сигналам.

Если основные воздействия флотопроцесса представляют собой стационарные случайные функции [1], то динамические свойства могут быть полностью описаны импульсной переходной функцией [2].

Решение третьей частной задачи предусматривает синтез алгоритмов идентификации, рассмотрение вопросов точности, времени идентификации и т. д.

Каждая из перечисленных задач представляет собой самостоятельную сложную проблему теории автоматического управления, однако все они тесно взаимосвязаны и их решение необходимо при синтезе систем оптимального управления объектами обогатительной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Салыга. Исследование с применением ЭВМ процесса флотации угля как объекта автоматического управления. Автореф. канд. дисс., Харьков, 1967.

2. А. А. Фельдбаум. Основы теории оптимальных автоматических систем. Изд-во «Наука», 1966.

3. В. И. Салыга. Алгоритмизация процесса флотации угля с применением ЭЦВМ. Materials of the International Conference on Automatic Control of Mines and Collieries (ICAMC), book 2. Cracow, 1969.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭНТРОПИИ УЧАСТКА ДИСКРЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. В. Свиридов, О. Н. Мельников

Харьков

При выборе информационной системы по обобщенному критерию оценки эффективности возникает необходимость в определении количественного значения информационной способности объекта.

Используя содержательное описание характеристик плана, можно получить матрицу переходов состояния объекта $\left\| \frac{\tau_{ij}}{\sum \tau_{ij}} \right\|$, т. е. некоторую последовательность i-х сообщений о j-х объемах выполненных работ, если известна длительность операций τ_{ij}.