EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 21. KÖIDE
FÜÜSIKA * MATEMAATIKA. 1972, NR. 3

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 21
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1972, № 3

https://doi.org/10.3176/phys.math.1972.3.17

УДК 62—50 : 007 : 66.02

И. РАНДВЕЭ

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СМЕШИВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОТОКОВ

I. RANDVEE. PALJUKOMPONENTSETE VOOGUDE REKOMBINEERUMISREŽIIMI JUHTIMINE

I. RANDVEE. MULTICOMPONENT MASS FLOW RECOMBINATION CONTROL

В данном сообщении рассматривается одна схема управления совокупностью аппаратов химической технологии, в которой происходит перераспределение веществ с целью получения смесей требуемого состава. Рассмотрение ограничивается следующими допущениями: возможно разделение во времени процесса идентификации и управления, характеристики технологических аппаратов от расхода (расходы ограниченные) не зависят, переходные процессы обусловливаются перемешиванием веществ в объемах аппаратов. Управление установившимся режимом, учитывая сделанные допущения, включает определение оптимальных по заданному критерию управлений, фиксацию оптимальных управлений в условиях изменения расходов исходных веществ и оценку характеристик аппаратов по данным измерений действительных расходов в потоках системы.

1. Модель процесса. Пусть аппараты процесса сгруппированы в n подсистем (ПС). В ПС_{n+1} входят все потоки продуктов из процесса, а из ПС_0 выводятся потоки исходных смесей. Связь между ПС характеризуется m равенствами вида

$$b_i^j = {}_v b^j, \quad j=1,\ 2,\ \ldots,\ m, \qquad i,\ v=0,\ 1,\ \ldots,\ n+1, \qquad (1)$$

где b_i^j и ${}_v b^j$ означают соответственно выходной для ПС_i j-й поток и входной для ПС_v тот же j-й поток; $b_{n+1}^j \equiv 0$, ${}_0 b^j \equiv 0$. Входные и выходные потоки образуют множества ${}_*B = \{{}_i b^j / j = 1, 2, \ldots, m\}$ и $B_* = \{b_i^j / j = 1,\ 2,\ \ldots,\ m\}$.

Каждый поток системы — суть k-мерный вектор, упорядоченный список веществ, участвующих в процессе. Уравнение статики ПС_i для j-го потока принимается в виде

$$b_i^j = K_i^j (u_i)\, {}_i b, \qquad i=1,\ 2,\ \ldots,\ n, \qquad (2)$$

где ${}_i b = \sum_{r=1}^{m} {}_i b^r$, $({}_i b^r \in {}_* B)$ — покомпонентная сумма входных потоков ПС_i, $K_i^j (u_i)$ — k-мерная диагональная матрица коэффициентов передачи. Коэффициенты передачи — известные (точнее, полученные в процессе идентификации) функции переменных управления (таких режимных показателей как температура, давление, соотношение расходов) [1].

Считая перемешивание в эквивалентном объеме аппаратов, включенных в подсистему V_i^j, идеальным и пренебрегая изменением объема при образовании смеси (все компоненты в жидкой фазе) получаем уравнение динамики для j-го потока ПС$_i$

$$V_i^j(t)\frac{dC_i^j}{dt}\varrho+q_i^j(t)C_i^j\varrho=K_i^j(u_i)\,{}_ib(t),$$
$$b_i^j(t)=q_i^j(t)C_i^j(t)\varrho, \tag{3}$$

где $C_i^j(t)$ — k-мерная диагональная матрица объемных соотношений; $\varrho(u_i)$ — k-мерная вектор-функция плотностей; $q_i^j(t)$ — объемный расход.

2. Оптимизация статического режима. Используем, учитывая структуру объекта, метод баланса взаимосвязей [2,3]. Пусть требуется определить управления, максимизирующие взвешенную сумму производительности продуктов

$$I=\sum_{r=1}^{m}{}_{n+1}W_{n+1}^{r'}b^r,\quad {}_{n+1}b^r\in{}_*B, \tag{4}$$

при ограничениях на управления и расходы подсистем

$$u_i\in U_i,\quad {}_ib^j\in{}_iB^j \tag{5}$$

(U_i, ${}_iB^j$ — допустимые множества), при балансе потоков взаимосвязей (1) и уравнениях (2). Эта задача. при известных условиях эквивалентна определению седловой точки функции Лагранжа для задачи (1), (4)

$$L=I+\sum_{j=1}^{m}P^{j'}(b_i^j(u_i)-{}_vb^j) \tag{6}$$

(где P^j — k-мерный вектор неопределенных множителей) при ограничениях подсистем (2) и (5). Введем в соответствии с (1) различные обозначения для вектора неопределенных множителей $P^j=P_i^j={}_vP^j$. Тогда, учитывая единственность взаимосвязей (1), можем выражение для седловой точки (6) записать в виде

$$L^*=\min_{P^j}\sum_{i=1}^{n}f_i(P^j,u_i^*) \tag{7}$$

(минимизация проводится при $P_n^j\equiv 0$ и постоянных множителях при продуктах согласно ${}_{n+1}P^j={}_{n+1}W)^j$,

$$f_i(P^j,u_i^*)=\max_{u_i,{}_ib^j}\sum_{j=1}^{m}(P_i^{j'}b_i^j(u_i)-{}_iP_i^{j'}b^j),\quad b_i^j\in B_*,\ {}_ib^j\in{}_*B \tag{8}$$

(максимизация проводится при фиксированных множителях P_i^j, ${}_iP^j$ и ограничениях (2), (5)). Запись задачи (4) в виде (7), (8) отражает известную двухуровневую схему решения, сходимость которой исследовалась в [2,4]. Размерность задачи (8) невелика, так как входные потоки подсистемы не содержат, как правило, всех веществ, участвующих в процессе. Число входных потоков ПС также мало. Описанный выше метод может быть применен и для остальных критериев оптимальности, используемых в управлении технологическими процессами.

3. Схема управления и идентификация подсистем. Пусть задан один из используемых в данном процессе критериев оптимальности и имеется оценка зависимости $K_i^j(u_i)$. Решением задачи оптимизации получаем значения управлений, которые фиксируются в процессе локальными регуляторами на определенный промежуток времени, в течение которого производится N измерений расходов на входе и выходе ПС. Будем считать, что данные измерений определяют расходы точно, но в ПС действуют независимые случайные возмущения, приводимые к выходу. При этих условиях можем оценить K_i^j с учетом переходных процессов методом наименьших квадратов. Перепишем дискретный вариант уравнения (3) в виде

$$y_i^j(p) = K_i^j(u_i)\,{}_ib(p),$$

где $y_i^j(p) = a_i^j(p)\,(C_i^j(p+1) - C_i^j(p))\,\varrho + b_i^j(p)$, $a_i^j(p)$ — коэффициент пропорциональности. Оценка наименьших квадратов K_i^j при фиксированном u_i на N измерениях ${}_ib(p)$ и $Z_i^j(p) = y_i^j(p) + \zeta_i^j(p)$, полагая $E[\zeta_i^j(p)] = 0$, $E[\zeta_i^j(p)\zeta_i^{j\prime}(p)] = \sigma^2 I$, $p = 1, 2, \ldots, N$, запишется в виде

$$\overline{K}_i^j = Z_i^j\,{}_iB'\,({}_iB_iB')^{-1},$$

где $Z_i^j, {}_iB$ — матрицы размерности $k \times N$; E — символ математического ожидания. Полученная оценка K_i^j используется далее в рекурсивном алгоритме регрессии для уточнения зависимости $K_i^j(u_i)$. Цикл уточнения $K_i^j(u_i)$, учитывая (3), не прерывается и при замене критерия оптимальности. Сходимость к оптимуму гарантируется принятыми статистическими характеристиками возмущений [5].

Приведенная схема погрупповой оптимизации и идентификации технологических аппаратов сравнительно легко реализуется в алгоритмах автоматизированного управления процессами перераспределения веществ. Примером описанных выше объектов может служить участок производства синтетического моющего вещества типола, состоящий из взаимосвязанных узлов дистилляции, экстракции, отстаивания и выпаривания [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Таваст Р., В сб.: Автоматизация химических производств, Вып. 2, 1971.
2. Lasdon L. S., Schoeffler I. D., Proc. Joint Automatic Control Conf., 1965, p. 85.
3. Первозванская Т. Н., Первозванский А. А., Автоматика и телемеханика, № 7 (1968).
4. Takahara Y., Mesarovic M. D., IEEE Trans. Autom. Control, 14, No. 6 (1969).
5. Рао С. Р., Линейные статистические методы и их применение, М., 1968, с. 192.
6. Синтетические моющие вещества из сланцевой смолы, под ред. С. И. Файнгольда, Таллин, 1964, с. 207.

Институт кибернетики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
10/III 1972