Վ. Բ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ

ՄԵՐԿԱ-ՀՈՍԱՆՔԱՅԻՆ ՁԵՎԱՓՈԽԻՉԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՇՂԹԱՅԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԱՌՆՉՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ամփոփում

Դիտարկվում է մերկա-հոսանքային ձևափոխիչի մագնիսական շղթայի հաշվման մի քանի հարցեր՝ ելնելով քառաբևեռների տեսանկյունից: Բերված է փորձնական եղանակով ստացված ներմուծված ակտիվ էլեկտրական դիմադրության և ինդուկտիվության կապը հսկման ենթակա փայլաթիթեղի հաստությունից: Օգտագործելով այդ օրինաչափությունը՝ որոշվել է ձևափոխիչի մագնիսական շղթայի երկրաչափական պարամետրերի օպտիմալ կապը:

ЛИТЕРАТУРА

1. *Атабеков Г. И.* Теоретические основы электротехники.—М.: Энергия, 1978.— Ч. 1.—592 с.
2. *Нерсесян В. Б.* Расчет токовихревого преобразователя трансформаторного типа на основе теории цепей с распределенными параметрами//Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1985.—Т. XXXVIII, № 1.—с. 30—36.
3. *Буль Б. К.* Основы теории и расчета магнитных цепей.—М.: Энергия, 1964.—461 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XIII, № 2, 1988

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Р. Г. АЛМОЯН, Г. Г. МАРДЖАНЯН, А. Г. САФАРЯН, Г. А. МАРТИРОСЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА ПОНТРЯГИНА С МЕТОДОМ ГРАДИЕНТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПАРОФАЗНОГО СИНТЕЗА АЛЛИЛАЦЕТАТА

Рассматривается процесс парофазного синтеза аллилацетата, который является квазистационарным и имеет следующую кинетическую модель (1):

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial C_1(l,t)}{\partial l} = -\frac{P}{v}\xi\frac{2K_1(T)K_2(T)f_1(C_1,C_2)f_2(C_1,C_2)}{2K_1(T)f_1(C_1,C_2)+K_2(T)f_2(C_1,C_2)};\\
&\frac{\partial C_2(l,t)}{\partial l} = \frac{P}{v}\xi\frac{2K_1(T)K_2(T)f_1^2(C_1,C_2)}{2K_1(T)f_1(C_1,C_2)+K_2(T)f_2(C_1,C_2)}; \qquad (1)\\
&\frac{\partial \xi(l,t)}{\partial t} = -K_c(T)\xi;\quad G=\{0\le l\le L;\ 0\le t\le t_u\}
\end{aligned}
$$

с краевыми условиями:

$$C_1(0,t)=C_1^0(t)=0;\quad C_2(0,t)=C_2^0(t)=0;\quad \theta(l,0)=\theta^0(l)=1, \tag{2}$$

где

$$f_1(C_1,C_2)=C_{O_2}^0-\frac{1}{2}(C_1-C_1^0)-\frac{3}{2}(C_2-C_2^0);$$

$$f_2(C_1,C_2)=C_{C_3H_6}^0-(C_1-C_1^0)-\frac{1}{3}(C_2-C_2^0).$$

C_1, C_2—соответственно молярные концентрации аллилацетата (полезного продукта) и двуокиси углерода (побочного продукта) в реакционных газах; $C_{O_2}^0$ и $C_{C_3H_6}^0$—молярные концентрации кислорода и пропилена в исходной парогазовой смеси (ПГС); ν—молярная подача ПГС, *кмоль/м²·ч*; l—текущая длина аппарата, *м*; t—астрономическое время, *ч*; θ—коэффициент дезактивации каталитической системы; K_1, K_3, K_4—константы скоростей отдельных стадий реакции; L—длина реактора, *м*; $t_ц$—продолжительность одного цикла протекания реакции, *ч*. Для оптимизации исследуемого процесса в [1] был применен двухуровневый метод оптимизации. На верхнем уровне осуществлялся поиск управляющих переменных ν и $t_ц$ с помощью метода наискорейшего спуска. На нижнем уровне для найденных значений ν и $t_ц$ с помощью принципа максимума Понтрягина выбиралась оптимальная температурная последовательность $T^*(l, t)$, обеспечивающая максимум выхода полезного продукта через единицу площади трубки реактора за единицу времени:

$$I(T(l,t))=\int_0^{t_ц}\frac{\nu C_1(L,t)}{t_ц+t_р+t_н}dt;\quad I(T)\longrightarrow \max_T \tag{3}$$

при наличии ограничения

$$T_{\min}\leqslant T\leqslant T_{\max}. \tag{4}$$

Расчеты показали, что при решении двухуровневой задачи основная часть машинного времени расходуется на задачу (1)—(4) [2]. Подобный класс задач решается, как правило, принципом максимума либо методом градиента, поэтому появилась необходимость решить эту задачу методом градиента и провести сравнительный анализ между ними с целью выявления из них более быстросходящегося.

Переход от задачи (1)—(4) к задаче безусловной оптимизации осуществлялся заменой переменной следующим образом. Преобразуя неравенство (4), получаем:

$$0\leqslant\frac{T-T_{\min}}{T_{\max}-T_{\min}}\leqslant 1. \tag{5}$$

Как известно:

$$-\frac{\pi}{2}<\operatorname{arctg}x<\frac{\pi}{2};\quad x\in\,]-\infty;+\infty[.$$

Аналогично можно записать:

$$0 < \frac{1}{\pi}\left(\operatorname{arctg} x + \frac{\pi}{2}\right) < 1. \tag{6}$$

В отличие от (5) неравенство (6) строгое. Незначительно расширив область допустимых значений управления T, вместо (4) получим:

$$T'_{min} < T < T'_{max}; \quad |T'_{min} - T_{min}| \leqslant \varepsilon_1; \quad |T'_{max} - T_{max}| \leqslant \varepsilon_2, \tag{7}$$

где ε_1 и ε_2—малые положительные величины. В таком случае:

$$0 < \frac{T - T'_{min}}{T'_{max} - T'_{min}} < 1. \tag{8}$$

Из неравенств (6) и (8) следует

$$T(l, t) = T'_{min} + \frac{\Delta T'}{\pi}\left(\operatorname{arctg} x(l, t) + \frac{\pi}{2}\right). \tag{9}$$

где

$$\Delta T' = T'_{max} - T'_{min}.$$

Тем самым ограниченная переменная T (l, t) заменяется неограниченной—X (l, T), и ищем максимальное значение:

$$I(x(l, t)) \longrightarrow \max_{x}.$$

Значение производной критерия эффективности по варьируемой переменной определилось методом сопряженного процесса [3], согласно которому:

$$\frac{\partial I(x)}{\partial x} = \frac{\partial I(T)}{\partial T}\frac{dT}{dx} = \frac{\partial H}{\partial T}\frac{dT}{dx} = \frac{\theta}{T^2}\left\{2\frac{PK_1 f_1}{v(2K_1 f_1 + K_3 f_2)^2}\left[(13500 K_1 K_3 f_1 f_2 + \right.\right.$$

$$+ 4200 K_3^2 f_2^2)\psi_1 + (15000 K_1 K_4 f_1^2 +$$

$$\left.\left. + 4950 K_3 K_4 f_1 f_2)\psi_2\right] - 11250 K_c \psi_3\right\} \frac{\Delta T'}{\pi(1 + x^2)}, \tag{10}$$

где H — функция Понтрягина; $\psi_1 - \psi_3$ — сопряженные переменные, которые имеют вид:

$$H = \frac{P}{v}\theta\frac{2K_1 f_1}{2K_1 f_1 + K_3 f_2}\left[(K_3 f_2 \psi_1 + K_4 f_1 \psi_2) - K_c \theta \psi_3\right]; \tag{11}$$

$$
\left\{
\begin{aligned}
\frac{\partial\psi_1(l,T)}{\partial l} &= \frac{P\theta}{\nu(2K_1f_1+K_3f_3)^2}\{(4K_1^2K_3f_1^2+K_1K_3^2f_3^2)\psi_1 + \\
&\quad + [4K_1^2K_4f_1 + 2K_1K_3K_4f_2 - \\
&\quad - 2K_1K_4(K_1+K_3)f_1^2]\psi_2\}; \\
\frac{\partial\psi_2(l,t)}{\partial l} &= \frac{P\theta}{\nu(2K_1f_1+K_3f_3)^2}\left\{\left(\frac{4}{3}K_1^2K_3f_1^2+3K_1K_3^2f_3^2\right)\psi_1 + \right. \\
&\quad + \left[12K_1^2K_4f_1 + 6K_1K_3K_4f_2 - \right. \\
&\quad \left.\left. - \frac{2}{3}K_1K_4(K_1+K_3)f_1^2\right]\psi_2\right\}; \\
\frac{\partial\psi_3(l,t)}{\partial t} &= K_4\psi_2 - \frac{P}{\nu(2K_1f_1+K_3f_3)}(2K_1K_3f_1f_3\psi_1 + 2K_1K_4f_1^2\psi_2)
\end{aligned}
\right. \tag{12}
$$

с краевыми условиями

$$
\psi_1(L,t) = \frac{\partial\Phi}{\partial C_1} = \frac{\nu}{t_\kappa + t_p + t_n};
$$

$$
\psi_2(L,t) = \frac{\partial\Phi}{\partial C_2} = 0; \quad \psi_3(l,t_n) = \frac{\partial\Phi}{\partial\theta} = 0, \tag{13}
$$

где Φ — подинтегральная функция критерия эффективности.

Алгоритм решения задачи методом градиента отличается от аналогичного решения принципом максимума Понтрягина [2] тем, что после прямого интегрирования системы (1) интегрируется система (12) в обратном направлении, полученые значения C_1, C_2, θ и ψ_1, ψ_2, ψ_3 запоминаются, после чего рассчитывается значение производной критерия по формуле (10) и далее строится последующий профиль по рекуррентному выражению:

$$
x_{K+1}(l,t) = x_K(l,t) + h_x^{(K)}\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\Big|_{x_K}(l,t),
$$

где $h_x^{(K)}$ — шаг градиентного метода для k-й итерации.

Поиск заканчивается при выполнении условия: $|x_{K+1}(l,t) - x_K(l,t)| < \varepsilon_x$, где ε_x — малая положительная величина, определяющая точность решения. Зная оптимальное значение $x^*(l,t)$, по формуле (9) находим искомое решение задачи (1) — (4) — $T^*(l,t)$.

Программы решения задачи (1) — (4) были составлены на языке программирования *PL/1* и реализованы на ЭВМ ЕС-1033 в операционной системе ОС ЕС версии 6.1. Расчеты производились по следующим значениям:

$\nu = 8000$ *кмоль/м²·ч*; $t_n = 960$ *ч*; $L = 6$ *м*; $\Delta l = 0{,}15$ *м*; $\Delta t = 48$ *ч*, где Δl и Δt—шаги интегрирования по длине и времени. При решении принципом максимума оптимальный температурный профиль был найден за 2 итерации (5 *мин* машинного времени), а критерий эффективности достиг значения $I \approx 25{,}87$. При решении задачи методом градиента были использованы различные варианты линейного поиска, описанные в [4]. Для наиболее удачного варианта решение получилось за 40 итераций (12 *мин* машинного времени), а значение критерия достигло величины $I \approx 25{,}84$. При попытках получать решение, более близкое к результату, полученному при применении принципа максимума, затраты машинного времени возрастали более чем в 10 раз. Поиск осуществлялся с той же начальной точки, что и при принципе максимума, следовательно, можно утверждать, что для решения класса задач, подобных задаче оптимизации (1)—(4), целесообразнее использовать принцип максимума Понтрягина.

ЕрПИ им. К. Маркса

25. I. 1986

Ռ. Գ. ԱԼՄՈՅԱՆ, Գ. Գ. ՄԱՐՋԱՆՅԱՆ, Ս. Գ. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Հ. Ա. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ՊՈՆՏՐՅԱԳԻՆԻ ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՅՆԻ ՍԿԶԲՈՒՆՔԻ ԵՎ ԳՐԱԴԻԵՆՏԻ ՄԵԹՈԴԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱԼԻԼԱՑԵՏԱՏԻ ԳԱԶԱՖՈՒԼԱՅԻՆ ՀԱՄԱԴՐՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ամփոփում

Դիտարկված են ալիլացետատի համադրման պրոցեսի օպտիմալացման հարցեր։

Կատարված է գրադիենտի մեթոդով և Պոնտրյագինի առավելագույնի սկզբունքով պրոցեսի օպտիմալացման արդյունքների համեմատական վերլուծություն։ Նշված ստատիկական պրոցեսի օպտիմալացման ժամանակ բացահայտված է նրանցից ամենաարագ զուգամիտողը։

ЛИТЕРАТУРА

1. Кинетика реакции парофазного синтеза аллилацетата из пропилена и уксусной кислоты на палладийсодержащих катализаторах/Г. Г. Марджанян, С. С. Хачатрян, А. К. Аветисов и др.// Кинетика и катализ.—1980—Т. XXI, № 3.—С. 681—685.
2. Оптимизация процесса парофазного синтеза аллилацетата/С. С. Хачатрян, Г. Г. Марджанян, Р. Г. Алмоян и др. // Изв. АН АрмССР.—Сер. ТН.—1982.—Т. XXXV, № 6.—С. 41—46.
3. *Островский Г. М., Волин Ю. М.* Моделирование сложных химико-технологических схем.—М.: Химия, 1975.—311 с.
4. *Васильев Ф. П.* Численные методы решения экстремальных задач.—М.: Наука, 1980.—386 с.