



УДК 519.876.330

ПОСТАНОВКА И МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПИРОЛИЗНОЙ ПЕЧИ

•••••

STATEMENT AND METHOD FOR SOLVING THE OPTIMIZATION PROBLEM OF THE PYROLYSIS FURNACE

Меликов Эльчин Адиль оглы

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Управление и инженерия систем»,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
elchin03@mail.ru

Аббасзаде Гусейн Низами оглы

магистр,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
abbaszadehuseyn@yahoo.com

Melikov Elchin Adil

Ph. D., Associate Professor of
Control and engineering systems,
Azerbaijan State University of
Oil and Industry
elchin03@mail.ru

Abbaszade Huseyn Nizami

Master,
Azerbaijan State University of
Oil and Industry
abbaszadehuseyn@yahoo.com

Аннотация. На основе всестороннего изучения и анализа функционирования технологического процесса пиролиза сформулирована физически обоснованная математическая постановка задачи оптимизации работы пиролизной печи. Предложен метод оптимального управления динамическими режимами рассматриваемой пиролизной печи крупнотоннажного производства этилена и пропилена ЭП-300.

Annotation. Based on a comprehensive study and analysis of the functioning of the pyrolysis process, a physically substantiated mathematical statement of the optimizing problem the operation of the pyrolysis furnace is formulated. The method of dynamic modes optimal control of the pyrolysis furnace under consideration for the large-capacity production ethylene and propylene EP-300 is proposed.

Ключевые слова: пиролизная печь, технологический процесс, управляющие воздействия, оптимальная траектория, динамические режимы, задача оптимизации.

Keywords: pyrolysis furnace, technological process, control actions, optimal trajectory, dynamic modes, optimization problem.

Известно, что реакция пиролиза в трубчатой печи сопровождается коксоотложением на внутренней поверхности змеевиков, приводящему к изменению физико-химических характеристик реактора, а, значит к быстрому падению эффективности режима функционирования нестационарного технологического аппарата. Изменения толщины кокса в зависимости от времени имеет произвольный вид, и, в то же время зависит от возмущающих и управляющих воздействий на рассматриваемый процесс.

В качестве оценки состояния пиролизной печи (эффективности режима функционирования реакционного процесса) можно использовать нелинейную составляющую конверсии сырья, характеризующую снижение выхода целевого продукта из-за отложения кокса на стенках реактора. Исходя из этого, задача управления формулируется как задача выбора таких управляющих воздействий, которые обеспечивают минимальное значение критерия управления, то есть оценки состояния пиролизной печи, а также удовлетворяют ограничительным условиям, налагаемым на режим функционирования пиролизной печи. При этом, скорость изменения состояния реактора пиролиза зависит и от самого текущего состояния рассматриваемого аппарата [1]. То же следует и из описываемого уравнения оценки состояния. Тогда следует, что задача выбора режима реактора на конечном интервале управления должна решаться как динамическая, что целесообразно на достаточно малом интервале при прогнозируемых возмущениях по качеству сырья и известных нагрузках [2].

Оптимизация технологического процесса пиролиза осуществляется на текущем шаге управления S при условии, что в результате решения задачи оптимизации реакторного комплекса между технологическими аппаратами на этом шаге распределены нагрузки: x_{iS} ($i = \overline{1, M}$).

Тогда математическое описание пиролизной печи может быть представлено нижеследующей системой уравнений:

$$\mu = b_1 \mu + b_2 u + b_3 x_{iS} + b_0, \quad (1)$$

$$\Delta T = d_1 \Delta T + d_2 u + d_3 x_{iS} + d_0, \quad (2)$$



где $u(t) = (T^n(t), Q^n(t))$ – вектор управляющих воздействий; $T^n(t)$ – температура пиролиза (температура на выходе из пирозмеевиков); $Q^n(t)$ – расход пара разбавления (отношение пар/сырье) для рассматриваемой системы граничные условия задаются в начале шага управления и записываются в виде:

$$\mu(\tau_k(t_0 + s - 1)) = \mu^0, \quad (3)$$

$$\Delta T(\tau_k(t_0 + s - 1)) = \Delta T^0. \quad (4)$$

Процесс оптимизации рассматривается на отрезке времени:

$$\Delta \tau = [(t_0 + s - 1); \tau_k(t_0 + s)].$$

При этом на управляющие воздействия накладываются ограничения:

$$\underline{T}^n \leq T^n(t) \leq \bar{T}^n, \quad (5)$$

$$\underline{Q}^n \leq Q^n(t) \leq \bar{Q}^n. \quad (6)$$

Оптимальная задача формулируется как задача отыскания такой допустимой вектор-функции $u(t)$, которая доставляет максимум нечеткому функционалу – состоянию печи:

$$I(u) = (y_{is} = (y_{is}(\mu, \Delta T, t), \alpha_{y_{is}}, \beta_{y_{is}})_{LR} \rightarrow \min, \quad (7)$$

И удовлетворяет требованиям к качеству пирогаза:

$$\underline{G} \leq G(x_{is}, u(t), y_{is}(\mu(t), \Delta T(t), t)) \leq \bar{G} \quad t \in \Delta \tau. \quad (8)$$

С помощью ограничений (8) задаются необходимые интервалы для содержания в пирогазе этилена, пропилена, этана, пропана, фракций C_4 и C_5 [3].

Таким образом, для решения вышеставленной математической задачи (1-8) может быть применен принцип максимума Понтрягина. Для этого необходимо построить нечеткие аналоги критерия (7) и ограничений (8).

Заменив (7) четкими аналогами, получим:

$$y_{is}(\mu_i(t_1), \Delta T_i(t_1), t_1) \rightarrow \min. \quad (9)$$

$$\alpha_{y_{is}}(\mu_i(t_1), \Delta T_i(t_1), t_1) \rightarrow \max. \quad (10)$$

$$\beta_{y_{is}}(\mu_i(t_1), \Delta T_i(t_1), t_1) \rightarrow \min. \quad (11)$$

$$\alpha_{y_{is}}(\mu_i(t_1), \Delta T_i(t_1), t_1) \leq \alpha'. \quad (12)$$

$$t_1 = \tau_k(t_0 + S).$$

Поскольку оптимизация осуществляется на достаточно малом интервале времени, то условие (12) можно учесть при свертке критериев (9) ÷ (11).

Четкий аналог ограничения (8) строится на основе принципа обобщения.

Введем дополнительную переменную $z = t$ и дополним систему ограничений условиями:

$$\dot{z} = 1,$$

$$z(\tau_k(t_0 + S - 1)) = \tau_k(t_0 + S - 1).$$

Составим функцию Гамильтона:

$$H = \psi_1(b_1\mu + \langle b_2, u \rangle + b_3x_{is} + b_0) + \psi_2(d_1\mu + \langle d_2, u \rangle + d_3x_{is} + d_0) + \psi_3.$$

Сопряженная система имеет вид:

$$\dot{\psi}_1 = -b_1\psi_1$$

$$\dot{\psi}_2 = -d_1\psi_2$$

$$\dot{\psi}_3 = 0.$$

(13)

Запишем условия трансверсальности:

$$\begin{aligned} \psi_1(t_1) &= \frac{\partial y_{is}(\mu(t_1))}{\partial \mu} - q \frac{\partial \alpha_{y_{is}}(\mu(t_1))}{\partial \mu} \\ \psi_2(t_1) &= \frac{\partial y_{is}(\Delta T(t_1))}{\partial \Delta T} - q \frac{\partial \alpha_{y_{is}}(\Delta T(t_1))}{\partial \Delta T} \\ \psi_3(t_1) &= \frac{\partial y_{is}(z(t_1))}{\partial z} - q \frac{\partial \alpha_{y_{is}}(z(t_1))}{\partial z}. \end{aligned} \quad (14)$$



При этом, отыскание оптимальной траектории сводится к поиску при заданных $\Delta\tau$, x_{is} таких $(T^0(t), Q^0(t), \psi^0(t_k(t_0 + s - 1)))$, которые удовлетворяют условиям (1), (2), (12) и необходимому условию оптимальности:

$$H(\mu^0(t), \Delta T^0(t), \psi^0(t), u^0(t), t) = \max_{u \in U} H(\mu^0(t), \Delta T^0(t), \psi^0(t), u(t), t), \quad t \in \Delta\tau,$$

где $\mu^0(t), \Delta T^0(t), t \in \Delta\tau$ – оптимальная траектория допустимой вектор-функции $u(t)$; $\psi^0(t), t \in \Delta\tau$ – решение уравнений (13) и (14). При решении поставленной задачи необходимо также учитывать ограничения (8)).

Таким образом, выше поставлена задача оптимизации функционирования пиролизной печи и предложен метод его решения. В связи с тем, что оценка состояния печи моделируется с помощью нечеткой переменной, предложен метод оптимизации динамических режимов рассматриваемых аппаратов, учитывающий специальную структуру условий трансверсальности.

Литература:

1. Barendregt S., Dente M., Ranzi E., Daim F. // Oil and Gaz J. – 2002. – V. 79. – № 14. – P. 90–118.
2. De Blieck J.L., Goossens A.J. // Inform. Chim. – 2001. – № 98. – P. 99–100, 103–107.
3. Локальные системы автоматической оптимизации пиролиза углеводородов / Ю. П. Русинковский, П.В. Костогрыз.

References:

1. Barendregt S., Dente M., Ranzi E., Daim F. // Oil and Gaz J. – 2002. – V. 79. – № 14. – P. 90–118.
2. De Blieck J.L., Goossens A.J. // Inform. Chim. – 2001. – № 98. – P. 99–100, 103–107.
3. Local automatic systems optimization of hydrocarbon pyrolysis / U.P. Rusinkovski, P.V. Kostogriz.