УДК 681.51

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

THE OPTIMIZATION PROBLEM OF THE CATALYTIC CRACKING PROCESS

Меликов Эльчин Адиль оглы
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры инженерии систем управления,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
elchin03@mail.ru

Melikov Elchin Adil
Ph. D., Associate Professor of
engineering control systems,
Azerbaijan State University of
Oil and Industry
elchin03@mail.ru

Аннотация. На основе тщательного исследования процесса каталитического крекинга было установлено, что он функционирует при наличии широкого спектра случайных возмущающих факторов. Дана математическая постановка задачи оптимизации рассматриваемого процесса как задача стохастического программирования. Осуществлен переход к детерминированному аналогу и разработан алгоритм решения полученной детерминированной задачи.

Ключевые слова: задача стохастического программирования, процесс каталитического крекинга, вероятностные ограничения, детерминированный аналог.

Annotation. Based on a thorough study of the catalytic cracking process, it was found that it functions in the presence wide range of random perturbing factors. A mathematical formulation of the optimization problem for the process under consideration as a stochastic programming problem of is given. A transition to a deterministic analogue is made and an algorithm for solving the obtained deterministic problem is developed.

Keywords: stochastic programming problem, catalytic cracking process, probability constraints, deterministic analog.

Как известно, современные крупнотоннажные технологические процессы функционируют при наличии широкого спектра случайных возмущающих факторов, что снижает эффективность управления этими процессами. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективных математических методов и алгоритмов оптимизации режимных параметров с учетом случайных факторов, действующих на данные процессы.

Проблеме оптимального управления процессом каталитического крекинга посвящено много работ, но во всех них задачи управления поставлены и решены в предположении о наличии полной информации о состоянии процесса, то есть как детерминированные [1]. В реальных условиях выходные параметры технологического объекта зависят не только от управляющих воздействий, но и от ряда факторов, не поддающихся измерению и изменяющихся по случайным законам. К таким факторам относятся: ошибки измерений технологических параметров и потоков (температура и давление в реакторе, кратность циркуляции, весовая скорость и т.д.), отклонение значений количественных и качественных показателей поступающего сырья (расход, удельный вес, начало кипения, 50 %-е кипение, конец кипения, выкипаемость, кинематическая вязкость и т.д.), неконтролируемое изменение параметров технологического процесса (активность катализатора).

При определении коэффициентов уравнений, вследствие стохастической связи между управляющими и управляемыми величинами получаем некоторую их усредненную оценку. Однако, анализ функционирования системы управления процессом каталитического крекинга показал, что непосредственную замену коэффициентов их оценкой нельзя считать корректной, так как выполнение ограничений в среднем приводит к определенным потерям.

Рассматриваемый технологический процесс описывается системой нелинейных алгебраических уравнений вида [2]:

$$y_j = b_0^j + \sum_{i=1}^{7} b_i^j x_i + \sum_{i=1}^{7} \sum_{R=i}^{7} b_{iR}^j x_i x_R, \quad (1)$$

где x_i – входные параметры (x_1 – температура середины реактора, x_2 – кратность циркуляции, x_3 – весовая скорость, x_4 – удельный вес сырья, x_5 – температура начала кипения сырья, x_6 – выкипаемость сырья до 300°С, x_7 – температура конца кипения сырья), y_j – выходные параметры (y_1 – выход бензина, y_2 – выход газа, y_3 – выделяемый кокс, y_4 – удельный вес бензина, y_5 – температура начала кипения бензина, y_6 – выкипаемость бензина до 100°С, y_7 – температура конца кипения бензина), $\{b_i^j\}$ – коэффициенты алгебраических уравнений.

В качестве критерия для определения управляющих параметров принимается максимум математического ожидания количества выхода бензина y_1:

$$\max E\,\{F(x_4, x_5, x_6, x_7, u_1, u_2, u_3)\}, \quad (2)$$

где $x_4 \div x_7$ – состояние рассматриваемой системы, $u_1 \div u_1$ – управляющие параметры, $E\{\cdot\}$ – знак математического ожидания при детерминированных:

$$y_j \le \bar{Q}_j, j = 2,3 \tag{3}$$

и вероятностных ограничениях:

$$P\left(\underline{\theta}_j \le y_j \le \bar{\theta}_j\right) \ge \alpha_j, \tag{4}$$

где $0 < \alpha_j < 1\ (j = \overline{4,7})$.

Значения ограничений Q_j, θ_j и вероятности их выполнения α_j, задаваемые технологическим персоналом на основе имеющегося опыта и использованные при расчете, приведены в таблице 1.

Следует отметить, что сформулированная задача (1) – (4) является задачей стохастического программирования с вероятностными ограничениями, для решения которой приемлемым является метод определения детерминированного аналога [3].

При этом, чтобы привести задачу стохастического программирования с ограничениями (4) к эквивалентной детерминированной задаче, следует построить условную функцию распределения $\boldsymbol{\mathcal{F}}(y_j/x)$ случайного вектора y_j. Зная данную функцию, которая подчинена нормальному закону распределения [4], вероятностные ограничения (4) можно представить в виде:

$$\boldsymbol{\mathcal{F}}(y_j/x) \ge \alpha_j\ (j = \overline{4,7})\ . \tag{5}$$

Если же перейти от случайных величин y_j к нормированным погрешностям

$$v_j = (\theta_j - \bar{y}_j(x))/\sigma_j\ , \tag{6}$$

то получим эквивалентные ограничения:

$$\boldsymbol{\mathcal{F}}(v_j) \ge \alpha_j.$$

Таблица 1 – Значения ограничений и вероятности их выполнения, задаваемые оператором-технологом

Наименование параметра	Условное обозначение	Верхнее значение ограничения	Нижнее значение ограничения	Вероятности выполнения ограничения $\boldsymbol{\alpha_j}$
Выход газа, кг/ч	$\boldsymbol{Q_2}$	400	–	–
Выделяемый кокс, кг/ч	$\boldsymbol{Q_3}$	780	–	–
Удельный вес бензина, кг/м^3	$\boldsymbol{\theta_4}$	0.7683	0.7111	0,94
Начало кипения бензина, °С	$\boldsymbol{\theta_5}$	43	32	0,94
Выкипаемость бензина до 100 °С, %	$\boldsymbol{\theta_6}$	46	22	0,94
Конец кипения бензина, °С	$\boldsymbol{\theta_7}$	255	238	0,94

Для решения полученной детерминированной задачи оптимизации технологического процесса каталитического крекинга разработан нижеприведенный алгоритм. Так как количество переменных здесь небольшое и зачастую не обеспечивается выпуклость имеющихся ограничений задачи, то в качестве поискового метода можно применить так называемый метод сканирования. Рассмотрим основные этапы предлагаемого алгоритма:

Шаг 1. Методом сканирования выбираются значения для режимных параметров, доставляющих максимум выходу бензина;

Шаг 2. Проверяются детерминированные ограничения по выходу газа $(y_2 \le Q_2)$ и кокса $(y_3 \le Q_3)$;

Шаг 3. Проверяются вероятностные ограничения по четырем параметрам (удельный вес, начало кипения, выкипаемость до 100°С, конец кипения) качества получаемого бензина. Здесь вычисляются $\bar{y}_j(x)$, $v = (\theta_j - y_j(x))/\sigma_j$, $\boldsymbol{\mathcal{F}}\left(v_j\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{\infty}^{v_j} e^{-{v_j}^2/2}$, а также проверяются ограничения $\boldsymbol{\mathcal{F}}\left(v_j\right) \ge \alpha_j$.

Шаг 4. После проверки всевозможных значений режимных параметров путем перебора находятся оптимальные режимные параметры.

Если не формулировать ограничения (4) в вероятностной форме, а решить задачу традиционно, то есть требовать выполнения ограничений для оценки среднего, то критерий (2) примет значение 21351.8 кг/ч в точке оптимума $(u_1 = 439.0°\text{C}, u_2 = 0.5, u_3 = 1.2)$.

При решении рассмотренной задачи вышеизложенным алгоритмом в точке оптимума $(u_1 = 430{,}0\ °\text{C}, u_2 = 0{,}4, u_3 = 1{,}4)$ критерий принимает значение 24850,4 кг/ч.

Литература:

1. Ахметов С.А. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа : учебное пособие. – 2005. – 236 с.
2. Сулейманов Н.М. Математическое моделирование процесса каталитического крекинга на НБНЗ им. В. Ильича // Нефть и газ. – 1981. – № 5.
3. Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. – М. : Энергия, 1979.
4. Эфендиев И.Р., Меликов Э.А., Ханбутаева Н.А. Моделирование и алгоритмизация задачи оптимизации стохастических режимов процесса первичной переработки нефти // Науково-практичний інформаційний журнал. Науково-технічна інформація. – Київ, 2009. – № 4(42). – С. 68–73.

References:

1. Akhmetov S.A. Technology, economics and automation of oil and gas processing : Textbook. – 2005. – 236 p.
2. Suleimanov N.M. Mathematical modeling of the catalytic cracking process at the NBNZ named after V. Ilyich // Oil and gas. – 1981. – № 5.
3. Dudnikov E.E, Tsodikov Y.M. Typical tasks of operational continuous production management. – M. : Energia, 1979.
4. Efendiyev I.R., Melikov E.A., Khanbutaeva N.A. Modeling and algorithmization of optimization problem for the stochastic regimes of process primary oil refining // Scientific and Practical Informational journal. Scientific and technical information. – Kiev, 2009. – № 4 (42). – P. 68–73.