

УДК

В.П. Кобринец, В.В. Лихавицкий, Д.Ю. Павлюкевич
(УО «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Беларусь)

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
КОЛОННЫ К-102**

Среди нормируемых показателей качества нефтепродуктов, относящихся к выходным координатам колонны, основными являются следующие: температуры 98% отбора фракции 140–180° ($T_{98}^{(1)}$), температуры 98% отбора фракции 180–230° ($T_{98}^{(2)}$) и температуры 50% отбора фракции 230–360° ($T_{98}^{(3)}$). Текущие значения этих параметров измеряются специальными анализаторами, входящими в состав измерительного комплекса колонны. Требования, предъявляемые к этим температурам имеют вид:

$$T_{98\min}^{(1)} \leq T_{98}^{(1)} \leq T_{98\max}^{(1)}; T_{98\min}^{(2)} \leq T_{98}^{(2)} \leq T_{98\max}^{(2)}; T_{50\min}^{(3)} \leq T_{50}^{(3)} \leq T_{50\max}^{(3)}. \quad (1)$$

Применительно к данным выходным координатам математическая модель колонны примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \widehat{T}_{98}^{(1)} = & m_{11}(t_{B1} - \bar{t}_{B1}) + m_{12} \ln P_K + m_{13} \left(\frac{d_{W1}W_1}{d_F F} - \frac{\bar{W}_1}{\bar{F}} \right) + \\ & + m_{14} \left(\frac{d_{W1}W_1}{d_F F} - \frac{\bar{W}_1}{\bar{F}} \right)^2 + m_{15} \left(\frac{Q_1}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_1}{\bar{Q}_F} \right) + m_{16} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \widehat{T}_{98}^{(2)} = & m_{21}(t_{B2} - \bar{t}_{B2}) + m_{22} \ln P_K + m_{23} \left(\frac{d_{W2}W_2}{d_F F} - \frac{\bar{W}_2}{\bar{F}} \right) + \\ & + m_{24} \left(\frac{d_{W2}W_2}{d_F F} - \frac{\bar{W}_2}{\bar{F}} \right)^2 + m_{25} \left(\frac{d_{W1}W_1}{d_F F} - \frac{\bar{W}_1}{\bar{F}} \right) + \\ & + m_{26} \left(\frac{Q_2}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_2}{\bar{Q}_F} \right) + m_{27} \left(\frac{Q_1}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_1}{\bar{Q}_F} \right) + m_{28} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
\widehat{T}_{50}^{(3)} &= m_{31}(t_{B3} - \bar{t}_{B3}) + m_{32} \ln P_K + m_{33} \left(\frac{d_{W3}W_3}{d_F F} - \frac{\bar{W}_2}{\bar{F}} \right) + \\
&+ m_{34} \left(\frac{d_{W3}W_3}{d_F F} - \frac{\bar{W}_3}{\bar{F}} \right)^2 + m_{35} \left(\frac{d_{W2}W_2}{d_F F} - \frac{\bar{W}_2}{\bar{F}} \right) + m_{36} \left(\frac{d_{W1}W_1}{d_F F} - \frac{\bar{W}_1}{\bar{F}} \right) + \\
&+ m_{37} \left(\frac{Q_3}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_3}{\bar{Q}_F} \right) + m_{38} \left(\frac{Q_2}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_2}{\bar{Q}_F} \right) + m_{39} \left(\frac{Q_1}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_1}{\bar{Q}_F} \right) + m_{310} \quad (4)
\end{aligned}$$

где: $\widehat{T}_{98}^{(1)}$, $\widehat{T}_{98}^{(2)}$, $\widehat{T}_{50}^{(3)}$ – оценки истинных температур. $T_{98}^{(1)}$, $T_{98}^{(2)}$, $T_{50}^{(3)}$; величины m_{ij} ; $i = 1, 2, 3$, $j = \overline{1, n_i}$ ($n_1 = 6, n_2 = 8, n_3 = 10$) – настраиваемые коэффициенты; P_K – давление в колонне; t_{B1}, t_{B2}, t_{B3} – температуры на перетоке в отпарные секции К-103/1, К-103/2, К-103/3, соответственно; F – нагрузка колонны по сырью; W_1, W_2, W_3 – отборы фракций 140–180, 180–230, 230–360°С, соответственно; $d_F, d_{W1}, d_{W2}, d_{W3}$ – удельные плотности поступающей нефти, фракций 140–180°С, 180–230°С, 230–360°С, соответственно; Q_F – количество тепла, поступающее в единицу времени с нефтью; Q_1, Q_2, Q_3 – количество тепла, отводимое в единицу времени с помощью верхнего, 1-го и 2-го циркуляционных орошений, соответственно.

$$Q_F = h(t_F, d_F) d_F F, \quad (5)$$

$$Q_i = [h(t_{i1}, d_{si}) - h(t_{i2}, d_s)] d_{si} S_i, \quad i = 1, 2, 3, \quad (6)$$

где t_{i1}, t_{i2} – температуры жидкости i -го циркуляционного орошения, измеряемые соответственно при выходе из колонны и при входе в колонну после теплообменника, d_{si} – удельная плотность жидкости, S_i – расход циркуляционного орошения; $h(t, d)$ – удельное теплосодержание углеводородов, находящихся в жидкой фазе с плотностью d при температуре t , и которое рассчитывается по формуле:

$$h(t, d) = (0.403 + 0.405 \cdot 10^{-3} t^2) \cdot d^{-0.5}. \quad (7)$$

Величины, помеченные чертой сверху, в уравнениях (2), (3), (4) имеют среднестатистические значения, определяемые по экспериментальным данным, как средние значения соответствующих параметров.

Введем следующие обозначения:

$$\widehat{y}_1 = \widehat{T}_{98}^{(1)}, \widehat{y}_2 = \widehat{T}_{98}^{(2)}, \widehat{y}_3 = \widehat{T}_{50}^{(3)} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= t_{B1} - \bar{t}_{B1}; & X_2 &= \ln P_K; & X_3 &= \frac{d_{W1}W_1}{d_F F} - \frac{\bar{W}_1}{\bar{F}}; \\ X_4 &= \frac{Q_1}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_1}{\bar{Q}_F}; & X_5 &= t_{B2} - \bar{t}_{B2}; & X_6 &= \frac{d_{W2}W_2}{d_F F} - \frac{\bar{W}_2}{\bar{F}}; \\ X_7 &= \frac{Q_2}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_2}{\bar{Q}_F}; & X_8 &= t_{B3} - \bar{t}_{B3}; & X_9 &= \frac{d_{W3}W_3}{d_F F} - \frac{\bar{W}_3}{\bar{F}}; \\ X_{10} &= \frac{Q_3}{Q_F} - \frac{\bar{Q}_3}{\bar{Q}_F}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

С учетом обозначений (8) и (9) уравнения математической модели (2), (3), (4) примут вид:

$$\hat{T}_{98}^{(1)} = m_{11}X_1 + m_{12}X_2 + m_{13}X_3 + m_{14}X_3^2 + m_{15}X_4 + m_{16} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \hat{T}_{98}^{(2)} &= m_{21}X_5 + m_{22}X_2 + m_{23}X_6 + m_{24}X_6^2 + \\ &+ m_{25}X_3 + m_{26}X_7 + m_{27}X_4 + m_{28} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \hat{T}_{50}^{(3)} &= m_{31}X_8 + m_{32}X_2 + m_{33}X_9 + m_{34}X_9^2 + m_{35}X_6 + m_{36}X_3 + \\ &+ m_{37}X_{10} + m_{38}X_7 + m_{39}X_4 + m_{310} \end{aligned} \quad (12)$$

в соответствии с принятой ранее классификацией координат, характеризующих протекание процесса ректификации нефти, на выходные, управляющие и возмущающие, введем следующие определения. Принимаем в качестве вектора выходов вектор

$$y = (y_1, y_2, y_3) = (T_{98}^{(1)}, T_{98}^{(2)}, T_{50}^{(3)}), \quad (13)$$

вектора управления – вектор

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_6) = (W_1, W_2, W_3, S_1, S_2, S_3), \quad (14)$$

вектора возмущений – вектор

$$\omega = (\omega_1, \omega_2) = (F, t_K), \quad (15)$$

вектора режимных параметров – вектор

$$r = (r_1, r_2, \dots, r_9) = (t_{B1}, t_{B2}, t_{B3}, t_{11}, t_{21}, t_{31}, t_{12}, t_{22}, t_{32}) \quad (16)$$

С учетом принятых обозначений (8), (9) вектор X входных координат объекта, включающий в себя вектор управления u , возмущений ω и режимных параметров r можно представить в следующем виде:

$$X(u, \omega, r) = (X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_{10}) \quad (17)$$

С учетом принятых обозначений модель процесса ректификации, представленную уравнениями (2)–(7), а также уравнениями (10)–(12) можно записать в виде:

$$\hat{Y}_i = m_i^T \varphi_i(X), \quad i = 1, 2, 3, \quad (18)$$

где φ_i – вектор-функции, которые будем считать известными; $m_i = (m_{i1}, \dots, m_{in_i})$ – вектор подстраиваемых коэффициентов.

Для определения векторов m_i ($i = 1, 2, 3$) в модели (18) необходимы измеренные значения векторов y (13), u (14), ω (15), r (16) в установившемся режиме работы колонны.

Для этой цели были использованы данные измерений величин технологических параметров, являющихся компонентами векторов y , u , w , r за 1 сутки непрерывного измерения с дискретностью 6 секунд. Из этого массива необходимо выбрать данные, соответствующие установившемуся режиму работы колонны. Эту задачу можно решить, выбрав необходимые интервалы времени между измерениями с учетом динамических свойств основных каналов управления колонной.

Предварительно при обработке экспериментальных данных были определены динамические свойства данных каналов. При этом установлено, что величины постоянных времени T и времени запаздывания τ примерно одинаковы для каждого канала. Для них были получены следующие оценки: $10' \leq T \leq 20'$ и $25' \leq \tau \leq 35'$.

Поэтому из указанного массива были выбраны данные, измеренные с дискретностью 30 минут. Кроме того, между измерениями векторов u , ω , r и вектора y принят временной интервал, равный 30 минут. Всего было выбрано данных 48 измерений векторов y , u , ω , r .

С использованием данных по формуле (7) рассчитано удельное теплосодержание нефти (h_F), циркуляционных орошений на выходе и на входе в колонну (h_{ij}), по формулам (5) и (6) – количество тепла, поступающего в единицу времени в колонну (Q_F) и количество тепла, отводимого с помощью верхнего (Q_1), 1-го (Q_2) и 2-го (Q_3) циркуляционных орошений.

На основании исходных данных по соотношениям (9) были рассчитаны для всех точек измерений значения компонента вектора входных координат X ($X_1 - X_{10}$). По данным с использованием метода наименьших квадратов определены для уравнений математической модели (10), (11), (12) значения подстроечных коэффициентов m_{ij} . Таким образом, математическая модель статики процесса ректификации имеет вид:

$$\hat{y}_1 = -0.051652X_1 + 45.876X_2 - 10644X_3 - 1051100X_3^2 - 8.6466X_4 + 170.1 \quad (19)$$

$$\hat{y}_2 = -0.49071X_5 + 7.8907X_2 + 4884.8X_6 + 327040X_6^2 + 432.59X_3 - 55.74X_7 + 374.76X_4 + 255.43 \quad (20)$$

$$\hat{y}_3 = -0.070238X_8 + 24.395X_2 + 377.25X_9 + 84989X_9^2 - 528.9X_6 + 392.18X_3 - 17.534X_{10} - 21.685X_7 + 415.13X_4 + 304.16 \quad (21)$$

Оценка на адекватность уравнений (19), (20), (21) дала положительный результат. Это означает, что полученная математическая модель может быть использована как для расчета статических режимов работы колонны, так и для прогнозирования значения ее выходных координат по измеренным значениям входных координат.