УДК 681.3:665.6

И. Ф. Кузьмицкий, доцент; В. В. Лихавицкий, ассистент;
Чжай Лэй, магистрант; Го Лицзе, магистрант

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ

For application of the common principles of the theory of management to management of technological processes it is necessary to present them, as objects of the management, current determining it and describing a condition at the moment of time. The dynamic system which characteristics change under influence of revolting and managing influences refers to a object of management.

**Введение.** Ректификационная колонна, в которой отбензиненная нефть подвергается разделению на целевые фракции, является важнейшим аппаратом во всем цикле нефтепереработки. От эффективного управления колонной повышается качество и количество получаемых продуктов разделения: бензина и мазута. Повышение эффективности управления колонной может быть достигнуто улучшением показателей качества переходных процессов в системах автоматического регулирования основных технологических параметров путем оптимальной настройки автоматических регуляторов. При этом первым и важным этапом решения данных задач является анализ потоков информации об объекте управления и определение основных характеристик параметров процесса и взаимосвязей между ними. В настоящее время в Республике Беларусь на нефтеперерабатывающих предприятиях не существует математических моделей ректификационных колонн, которые бы с достаточной точностью могли использоваться для систем автоматического регулирования.

**Основная часть.** В качестве объекта управления рассматривается ректификационная колонна К-102. Аналитически получить математическую модель не представляется возможным, поскольку данная колонна является нестационарным объектом с распределенными параметрами. Одним из методов определения параметров математической модели является обработка данных нормальной эксплуатации. Определим основные входные и выходные информационные потоки.

1. Входные параметры $x_i$ $(i = 1, 2, ..., n)$: расход нефти ($F$), температура нефти ($t_f$).

2. Управляющие параметры $u_k$ $(k = 1, 2, ..., r)$: давление в колонне ($P$), расход верхнего циркуляционного орошения (ЦО) ($S_1$), расход 1-го ЦО ($S_2$), расход 2-го ЦО ($S_3$), температура верха колонны ($t_1$), температура 1-го ЦО колонны ($t_2$), температура 2-го ЦО колонны ($t_3$), температура низа колонны ($t_н$), расход фракции 140–180 ($W_1$), расход фракции 180–230 ($W_2$), расход фракции 230–360 ($W_3$).

3. Выходные параметры $y_j$ $(j = 1, 2, ..., m)$: температура 98% выкипания фракции 140–180 ($T_1$), температура 98% выкипания фракции 180–230 ($T_2$), температура 50% выкипания фракции 230–360 ($T_3$).

Примем в качестве вектора выходов вектор

$$y = (y_1, y_2, y_3) = (T_1, T_2, T_3).$$

Вектор управления имеет вид

$$u = (u_1, u_2, u_3) = (W_1, W_2, W_3).$$

С целью получения временных динамических характеристик мы будем обрабатывать параметры качества выходных продуктов процесса ректификации. Под качеством мы понимаем температуры 98% выкипания бензинов: верхнего $T_1$, среднего $T_2$ и нижнего $T_3$.

При расчете значений $y(t)$ с временем выборочного наблюдения за процессом 1 сут и интервалом времени между точками наблюдений 40 с принято общее количество ординат всех случайных процессов 2000 измерений.

Рассматривается связь между входной величиной $x = x(t)$ и выходной $y = y(t)$ в виде дифференциального уравнения [1]:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + ... + a_0 y(t) =$$

$$= b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + ... + b_0 x(t), \quad (1)$$

где $a_0, a_1, \ldots, a_n, b_0, b_1, \ldots, b_m$ – коэффициенты (постоянные или переменные во времени); $n$, $m$ – целые числа ($n \geq 0$, $m \geq 0$, $n \geq m$); $y(t)$, $x(t)$ – соответственно выход и вход системы (звена). Если в объекте имеется чистое запаздывание, то $x = x(t - \tau)$.

При принятых выше допущениях и потарелочном рассмотрении модели ректификационную колонну представляем в виде системы, состоящей из взаимодействующих звеньев:

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)^{n-1} (T_2 p + 1)}, \quad (2)$$

где $T_2 > 10T_1$, $T_2 / T_1 = q$.

Задача состоит в определении неизвестных коэффициентов уравнения по кривой разгона, являющейся реакцией системы на единичное скачкообразное возмущение.

Часто получить точную динамическую характеристику аналитически невозможно из-за сложной взаимной зависимости величин, входящих в уравнение, и ее определяют экспериментально. При этом для упрощения расчетов апериодические звенья высоких порядков заменяют комбинацией этих звеньев – чистого запаздывания и апериодического первого порядка:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{Tp+1}, \tag{3}$$

с учетом которой можно получить расчетную характеристику зависимости управляющих параметров от экспериментально полученных данных для проверки и уточнения математической модели.

Коэффициенты модели, полученные методами статистического анализа, оказались неадекватными.

Динамика линейного объекта может быть описана специальными функциями времени – весовой функцией. Эта функция является решением дифференциального уравнения при нулевых начальных условиях

$$q(t,\tau) = A_t\delta(t-\tau). \tag{4}$$

Эта реакция зависит от переменных $t$, $\tau$. Весовая функция линейной системы представляет собой реакцию этой системы в момент $t$ на единичный импульс, действующий на систему в момент $\tau$.

Физически любая функция времени $u(t)$ формально может быть представлена как комбинация импульсов или скачков. Это приводит к интегралу свертки, который для случая постоянных коэффициентов и нулевых начальных условий может быть записан в виде

$$y(t) = \int_0^\infty q(\tau)u(t-\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{t} q(t-\tau)u(\tau)d\tau. \tag{5}$$

Переходя к дискретной форме записи и записывая обозначения входных и выходных переменных, получим:

$$T_i(t) = \sum q_i(t-k\Delta\tau)W_i(k\Delta\tau)\Delta\tau, \tag{6}$$

где $i = \overline{1;3}$.

На основании данного уравнения были рассчитаны весовые функции по каналам $W_1 - T_1$, $W_2 - T_2$, $W_3 - T_3$. Данные зависимости были аппроксимированы полиномами 4-го порядка и уравнением вида

$$q(t) = C_0e^{-C_1t}\sin(C_2t + C_3), \tag{7}$$

где $C_1$, $C_2$, $C_3$, $C_4$ – неизвестные коэффициенты аппроксимирующего уравнения.

Была составлена программа для определения неизвестных коэффициентов и построены графики сравнения выходных характеристик, которые приведены ниже (рисунок).

*а*

*б*

*в*

Рисунок. Графики сравнения экспериментальных и расчетных значений по следующим каналам: *а* – $W_1 - T_1$; *б* – $W_2 - T_2$; *в* – $W_3 - T_3$

Результаты сравнения экспериментальных данных и значений, рассчитанных по уравнениям (6) и (7), показали, что присутствует невязка более 30%. Следовательно, данный метод неприменим для определения управляющих воздействий.

Для некоторых классов нелинейных объектов эти требования выполняются при использовании рядов Вольтерра. Используя ряды Вольтерра, ядра которых представляют собой весовые функции высших порядков, можно получить описание нелинейного объекта, допускающее ясную физическую интерпретацию. Этот метод имеет большое достоинство, связанное с тем, что нелинейная система рассматривается как непосредственное обобщение линейного случая, хотя сам объект может существенно отличаться от линейного. Иначе говоря, метод с использованием рядов Вольтерра интерпретирует линейные объекты как подкласс нелинейных объектов.

Если учесть квадратичные члены или члены более высоких порядков, то становится очевидным взаимодействие двух импульсов.

Преобразуем (5) в ряд Вольтерра вида

$$y(t)=\int_0^t q_1(\tau)u(t-\tau)d\tau+\int_0^t\int_0^t q_2(\tau_1,\tau_2)u(t-\tau_1)\times$$
$$\times u(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2+..., \quad (8)$$

где $q_i$ – весовые функции $i$-го порядка; $u_i$ – управления.

Применим следующую формулу для весовой функции:

$$q(t-\tau)=\frac{1}{T}e^{-\frac{t-\tau}{T}}. \quad (9)$$

В результате получим следующее выражение:

$$y(t)=\int_0^t q(\tau)u(t-\tau)d\tau=\int_0^t q(t-\tau)u(\tau)d\tau=$$
$$=\frac{1}{T}\int_0^t e^{-\frac{t-\tau}{T}}u(t-\tau)d\tau. \quad (10)$$

Переходя к дискретной форме записи, получим:

$$y(t)=\frac{1}{T}\sum e^{-\frac{t-\tau}{T}}u(\tau)\Delta\tau. \quad (11)$$

Неизвестные параметры $T$ и $\tau$ в последнем уравнении были определены методом наименьших квадратов. Полученные результаты показали, что ошибка не превышает 20%, что вполне приемлемо при использовании линейной записи интеграла свертки.

Применение метода второго порядка позволит определить связь температуры 98% выкипания фракции 140–180 ($T_1$) от расхода фракции 140–180 ($W_1$):

$$y_1(t)=\frac{\Delta\tau_1\Delta\tau_2}{T}\sum e^{-\frac{t-\tau}{T}}u(t-\tau_1)u(t-\tau_2). \quad (12)$$

В результате получены коэффициент усиления, постоянные времени и запаздывание.

По данному алгоритму составлена и реализована программа проведения имитационных экспериментов в пакете Matlab.

```
F=data(:,1);
tF=data(:,2);
MF=max(F);
MtF=max(tF);
F=F/MF;
tF=tF/MtF;
n=10;
DT=4;
K=n*DT;
T=30000;
dT1=40;
dT2=80;
t=1000;
nk=ceil(t/DT/n)*n+1;
tay2=80;
tay1=40;
for j=tay2/DT+1:n:nk
for i=tay1/DT+1:n:nk
y(i,j)=(dT1*dT2/T)*exp(-.025*((i-1)*dT1-
tay1))*F(i-1)*tay1*F(j-1)*tay2;
end
end
sum(sum(y))
```

После сравнения рассчитанных и экспериментальных значений погрешность измерения оказалась меньше 10%, следовательно, этот метод можно использовать в расчетах процесса ректификации нефти.

**Заключение.** Для расчетов по каналу температура 98% выкипания фракции 180–230 ($T_2$) от расхода фракции 180–230 ($W_2$) с учетом расхода фракции 140–180 ($W_1$) необходимо использовать выражение

$$y_2(t)=\int_0^t q_1(\tau)u_1(t-\tau)d\tau+\int_0^t q_2(\tau)u_2(t-\tau)d\tau+$$
$$+\int_0^t\int_0^t q_{11}(\tau)u_1(t-\tau_1)u_2(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2+$$
$$+\int_0^t\int_0^t q_{22}(\tau)u_1(t-\tau_1)u_2(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2+$$
$$+\int_0^t\int_0^t q_{12}(\tau)u_1(t-\tau_1)u_2(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2. \quad (13)$$

## Литература

1. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975.