

**Кобринец В.П., Карпович М.Д.**  
(БГТУ)

**Хаусов И.А.**  
(Воронежский государственный университет  
инженерных технологий)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ОСНОВНЫМ КАНАЛАМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ**

Анализ и синтез систем автоматического управления основан на использовании динамических характеристик. Эти характеристики описывают поведение либо системы управления в целом, либо отдельных ее элементов во время их изменения, т.е. в переходных процессах.

Динамические характеристики задаются в виде:

- а) дифференциальных уравнений или передаточных функций;
- б) кривых изменения выходной величины при возмущающем изменении входной величины, имеющем определенную апериодическую форму;
- в) функций частоты  $\omega$ , называемых частотными характеристиками.

При невозможности или нецелесообразности использования аналитических методов определения динамические характеристики находят опытным путем.

В этих условиях для такого сложного с точки зрения анализа объекта как ректификационная колонна К-102 динамические характеристики рационально определить опытным путем для сложной системы в целом. Преимущество этого метода заключается в большой достоверности полученных характеристик.

При рассмотрении исследуемой системы, в первую очередь необходимо установить наличие существующих в ней внутренних связей между отдельными входными и выходными величинами.

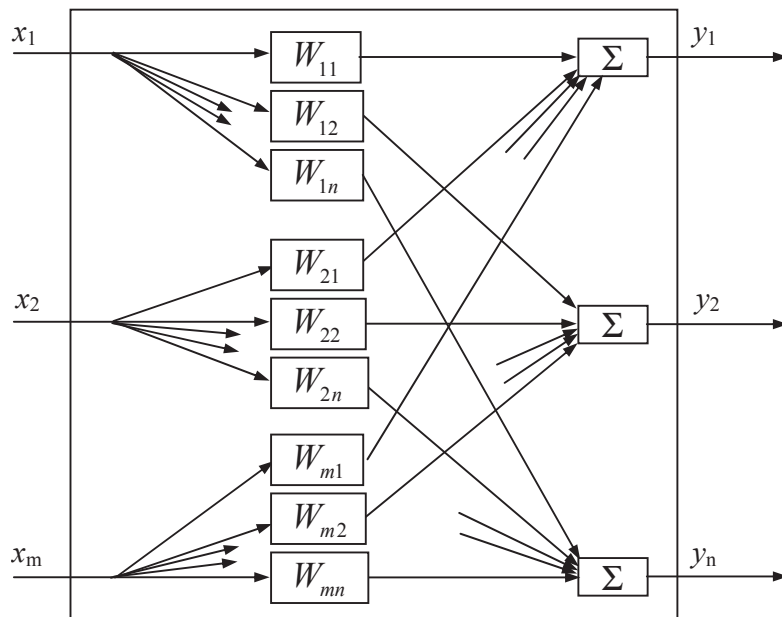
Каждая исследуемая система имеет  $m$  входных величин и  $n$  выходных величин. Между входными и выходными величинами существуют внутренние динамические связи, вид которых определяется соответствующими динамическими характеристиками и записывается в виде передаточных функций.

Обозначим динамическую характеристику связи между  $i$ -м входом и  $j$ -м выходом передаточной функцией  $W_{ij}$ . Тогда динамическая система будет иметь  $m \times n$  характеристик. Они образуют следующую характеристическую матрицу:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ W_{n1} & W_{n2} & \dots & W_{nm} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

полностью описывающую все динамические свойства системы.

Структурная схема такой динамической системы показана на рисунке.



**Рисунок – Структурная схема динамической системы**

Из приведенной выше схемы видно, что изменение некоторой выходной величины  $y_j$  определяется не только входной величиной  $x_i$  но и другими входными величинами, это обусловлено наличием внутренних связей. При экспериментальном исследовании динамическая характеристика  $W_{ij}$  определяется в результате обработки изменения  $x_i$  и  $y_j$  на протяжении одного и того же отрезка времени.

В данном случае передаточные функции  $W_{ij}$  определяются методами статистической динамики по данным нормальной эксплуатации объекта.

Для определения динамических характеристик по записям, полученным в процессе нормальной эксплуатации исследуемого объекта методом корреляционных функций применяем метод моментов.

Моменты импульсной характеристики вычислим по корреляционным функциям.

Для этой цели использовались экспериментальные данные о параметрах процесса ректификации в колонне К-102, полученные путем непрерывных измерений его параметров в течение 12 часов с дискретностью 23 секунды. Общее количество измерений – 2000 по каждому параметру процесса.

Качество целевых продуктов разделения, представляющих основные фракции – головной погон НК–140°С, боковой погон 140–180°С, боковой погон 180-230°С, боковой погон 230-360°С, нижний (кубовый) продукт – мазут, по температурам их кипения в настоящее время в автоматическом режиме не контролируются. Поэтому в качестве косвенных параметров в некоторой мере, отражающих качество данных фракций, можно принять следующие параметры: температуру верха колонны  $u_1$  (для головного погона) и температуры тарелок, с которых боковые погоны выводятся каждый в свою отпарную колонну (стриппинг-секцию), а именно, температура на 29 тарелке  $u_2$  – соответствует качеству фракции 140–180°С, температура на 17 тарелке  $u_3$  – качеству фракции 180–230°С, температура на 6 тарелке  $u_4$  – качеству фракции 230–360°С, температура низа колонны  $u_5$  – качеству мазута. Данные параметры для колонны К-102 являются выходными регулируемыми величинами.

К основным управляющим параметрам колонны можно отнести расход острого орошения  $u_1$ , расход верхнего циркуляционного орошения  $u_2$ , расход 1 циркуляционного орошения (1ЦО)  $u_3$ , расход второго циркуляционного орошения (2ЦО)  $u_4$ , расход водяного пара в колонну  $u_5$ .

Отбензиненная нефть подается из колонны К101, нагретая в П-100, 101 до определенной температуры, подается в исследуемую колонну по двум трансферным линиям. Поэтому расход нефти  $x_3$  и ее температура  $x_2$  являются вероятностными величинами и их можно отнести к основным возмущающим воздействиям. Также к данной группе параметров можно отнести уровень среды в колонне К-102  $x_1$ .

Динамические характеристики по каналам управления ректификационной колонны можно представить в виде передаточных функций первого порядка с запаздыванием следующего вида:

$$W_{ij}(p) = \frac{y_{ij}(p)}{x_{ij}(p)} = \frac{k_{ij} e^{-\tau_{ij} p}}{T_{ij} p + 1} \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}), \quad (2)$$

где  $y_{ij}(p)$  – преобразованное по Лапласу значение выходной (регулируемой) величины канала управления;  $x_{ij}(p)$  – преобразованное по

Лапласу значение входной (регулирующей, возмущающей) величины;  $k_{ij}, \tau_{ij}, T_{ij}$  – соответственно коэффициент передачи, время запаздывания и постоянная времени канала управления по  $i$ -ой входной и  $j$ -ой выходной переменным.

Согласно применяемому методу моментов зависимость (2) для любого канала может быть представлена в следующем виде:

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1} = H_0 - pH_1, \quad (3)$$

где  $H_0, H_1$  – соответственно нулевой и первый моменты импульсной характеристики.

При этом момент  $H_0$  соответствует коэффициенту передачи для данного канала управления, т.е.

$$k = H_0 \quad (4)$$

Из соотношения (3) определим выражение для постоянной времени  $T$ .

$$k = (H_0 - pH_1)(Tp+1) \quad (5)$$

$$k = H_0Tp + H_0 - H_1Tp^2 - pH_1 \quad (6)$$

Так как для передаточной функции первого порядка  $H_1Tp^2 = 0$  и  $k = H_0$ , то из уравнения (6) можно получить

$$T = \frac{H_1}{H_0} \quad (7)$$

Значения  $H_0, H_1$  для каждого канала управления определяются по следующим формулам

$$H_0 = \frac{B_0}{A_0} \quad (8)$$

$$H_1 = \frac{B_1}{A_0}, \quad (9)$$

где  $A_0$  – момент нулевого порядка корреляционной функции;  $B_0, B_1$  – соответственно моменты нулевого и первого порядка взаимокорреляционной функции.

По формулам (8), (9) и (7) были рассчитаны параметры  $k_{ij}, T_{ij}$  передаточной функции (3) для всех каналов управления. Таким образом, характеристическая матрица (1) для данного объекта управления имеет вид:

$$W_{ij}(p) = \begin{pmatrix} \begin{array}{ccccc} y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 \\ \hline -0.36676 & 3.2351 & -2.1917 & -0.49141 & -2.2527 \\ 1.15p+1 & 0.32p+1 & 1.47p+1 & 2.23p+1 & 1.37p+1 \\ \hline 0.011556 & -0.18761 & 0.016438 & -0.00045435 & 0.026436 \\ 0.69p+1 & 1.88p+1 & 0.68p+1 & 2.04p+1 & 3.24p+1 \\ \hline 0.0019557 & -0.24339 & -0.027777 & -0.030462 & -0.01529 \\ 1.86p+1 & 1.03p+1 & 1.9p+1 & 1.64p+1 & 2.01p+1 \\ \hline 0.010395 & 1.9917 & 0.10417 & 0.16239 & 0.10291 \\ 3.74p+1 & 0.67p+1 & 2.31p+1 & 1.05p+1 & 0.8p+1 \\ \hline -0.1793 & -27.858 & -1.3252 & -2.5496 & -1.7112 \\ 2.46p+1 & 0.54p+1 & 1.08p+1 & 0.27p+1 & 2.24p+1 \\ \hline 0.012014 & -0.68163 & -0.13121 & -0.1104 & -0.082605 \\ 2.65p+1 & 1.19p+1 & 0.74p+1 & 1.14p+1 & 2.55p+1 \\ \hline 0.020679 & 9.0532 & 1.8705 & 1.6276 & 1.6168 \\ 1.1p+1 & 0.78p+1 & 2.99p+1 & 1.54p+1 & 2.32p+1 \\ \hline -0.0088143 & -2.8502 & -0.16893 & -0.24814 & -0.18611 \\ 5.29p+1 & 1.15p+1 & 1.76p+1 & 1.82p+1 & 3.05p+1 \end{array} & \begin{array}{l} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{array} \end{pmatrix}.$$

По матрице можно определить передаточную функцию по любому каналу управления ( $u_i, x_i - y_j$ ) на пересечении соответствующего  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца матрицы.

Для определения степени связности данной многосвязной системы применена матрица Бристоля. Исходная матрица передаточных коэффициентов  $G(0)$  для исследуемой системы имеет вид:

$$G(0) = \begin{bmatrix} -0.36676 & 3.2351 & -2.1917 & -0.49141 & -2.2527 \\ 0.011556 & -0.18761 & 0.016438 & -0.00045435 & 0.026436 \\ 0.0019557 & -0.24339 & -0.027777 & -0.030462 & -0.01529 \\ 0.010395 & 1.9917 & 0.10417 & 0.16239 & 0.10291 \\ -0.1793 & -27.858 & -1.3252 & -2.5496 & -1.7112 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Для вычисления матрицы Бристоля матрицу  $G(0)$  необходимо привести к нормированному виду, чтобы для всех ее элементов выполнялось условие

$$-1 \leq \lambda_{ij} \leq +1. \quad (11)$$

При этом значение  $-1$  или  $+1$  должно соответствовать наибольшему коэффициенту передачи по каналам управления для величины  $y_i$ .

Матрица нормированных передаточных коэффициентов имеет вид:

$$G(0)_H = \begin{bmatrix} -1 & 0.11613 & -1 & -0.19274 & -1 \\ 0.03151 & -0.0067347 & 0.0075003 & -0.0001782 & 0.011735 \\ 0.0053325 & -0.0087368 & -0.012674 & -0.011948 & -0.0067873 \\ 0.028342 & 0.071494 & 0.047528 & 0.06369 & 0.045685 \\ -0.48887 & -1 & -0.60464 & -1 & -0.7596 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Проведено вычисление матрицы Бристоля, которая имеет вид:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & 0.0036592 & -0.0053325 & -0.0054625 & 0.48887 \\ 0.0036592 & 4.5356e-005 & -6.5529e-005 & -1.274e-005 & -0.011735 \\ -0.0053325 & -6.5529e-005 & 0.00016062 & -0.00056785 & 0.0041039 \\ -0.0054625 & -1.274e-005 & -0.00056785 & 0.0040565 & -0.045685 \\ 0.48887 & -0.011735 & 0.0041039 & -0.045685 & 0.57699 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Анализ матриц  $G(0)_H$  и  $\Lambda$  показывает, что довольно затруднительно выделить контуры регулирования (т.е. пары с  $u_i - y_j$ ), так как имеются очень сильные взаимосвязи между переменными. Поэтому для эффективного управления такими объектами необходимо применение систем многосвязного регулирования.

Решение всех вышеприведенных задач по определению статистических и динамических характеристик объекта проводилось с использованием специализированного пакета программ Matlab и его приложений.

УДК 655.52-529

**Кобринец В.П., Карпович М.Д.**  
(БГТУ)

**Рассылкин А.**  
(Таллиннский технический университет)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ**

Совершенствование процесса управления ректификации в колонне К-102 должно обеспечить лучшее значение определенного критерия – целевой функции – при определенных ограничениях.

Выбор целевой функции – наиболее ответственный этап в формулировании задач оптимизации. Целевую функцию требуется выбирать исходя из конкретных специфических условий. Например, при производстве видов продукции, временно дефицитных, целевой функцией будет максимальное количество продукции; при энергоемком производстве целевой функцией будет минимизация расхода энергии.

Если к нескольким показателям производства предъявляются двойственные требования, то необходимо оценить степень важности конфликтующих показателей. В качестве целевой функции выбирается наиболее важный из них, а на все остальные показатели накладываются ограничения.