СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА

Елисеева А.А., Малышенко А.М.

Научный руководитель Малышенко А.М., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет
E-mail: EliseevaAA@.sibmail.com

Синтез систем управления технологическими процессами обычно начинается с определения модели объекта. В настоящее время существует множество методов идентификации: параметрические методы, структурные и структурно-параметрические. На практике информацию об объекте управления получают в виде доступных непосредственному измерению входов и выходов. В теплоэнергетических, химических, металлургических процессах практически всегда наблюдается временная задержка реакции объекта на входное воздействие.

В [1] был рассмотрен и исследован метод структурной идентификации объекта, разработанный в Институте проблем управления РАН. Существенным недостатком рассмотренного метода идентификации является необходимость в аппроксимации транспортного запаздывания объекта управления.

В данном докладе рассмотрен модифицирован-ный метод В. Висковатова структурно-параметри-ческой идентификации объекта [2].

В качестве объекта выберем объект третьего порядка с непрерывной передаточной функцией (НПФ) вида:

$$W(s)=\frac{100}{(15s+1)^3}e^{-10s}. \qquad (1)$$

Суть метода заключается в том, что на основе дискретных вход-выходных данных формируется расчетная идентифицирующая матрица. Первые две строки этой матрицы образуют последовательные измерения входной и выходной переменных, а остальные элементы рассчитываются рекурентным соотношением до тех пор, пока не появится строка с нулевыми элементами. Первый столбец до нулевой строки определяет структуру и значения параметров дискретной передаточной функции (далее – ДПФ).

Проведем дискретизацию выходной функции $y(t)$ объекта (1) с шагом $\Delta t = 2$ с. Предположим, что измерены значения выходной переменной в моменты $\{n\Delta t\}_0^x$, которые являются исходной информацией для синтеза системы регулирования.

Согласно модифицированному алгоритму В. Висковатова элементы второй строки идентифицирующей матрицы сдвигаются до первого ненулевого элемента, и она принимает вид, соответствующий нижеприведенной таблице.

Таблица

Идентификационная матрица

1	1	1	1	1
0.036	0.259	0.793	1.704	0.036
–6.194	–21.028	–46.333	–82.917	–6.194
3.8	14.548	33.948	62.814	101.184
–0.434	–1.454	–3.145	–5.252	–8.58
0.478	1.687	3.798	6.858	10.885
–0.181	–0.704	–1.624	–3.016	–4.832
0	0	~	~	~

Так как в седьмой строке появились нули, расчет матрицы прекращается, а из элементов первого столбца формируется непрерывная дробь:

$$G(z)=\cfrac{0.036z^{-6}}{1+\cfrac{-6.194z^{-1}}{1+\cfrac{3.8z^{-1}}{1+\cfrac{-0.434z^{-1}}{1+\cfrac{0.478z^{-1}}{1-0.181z^{-1}}}}}},$$

свернув которую, получим ДПФ следующего вида:

$$G(z)=\frac{0.036z^{-1}+0.1321z^{-2}+0.0435z^{-3}}{1-2.424z^{-1}+1.92z^{-2}-0.512z^{-3}}z^{-5}$$

Данная модель имеет три одинаковых полюса $z_1^n = 0.8746$, $z_2^n = 0.8746$, $z_3^n = 0.8746$ и два нуля $z_1^н = -3.305$, $z_2^н = -0.365$. Согласно взаимно однозначному отображению $s = Ln(z)/\Delta t$ в s-плоскости будем иметь полюса $s_1^n = -0.0669$, $s_2^n = -0.0669$ и $s_3^n = -0.0669$. Так как $z_1^н < 0$, $z_2^н < 0$, то согласно исследованиям, проведенным в работе [3], в НПФ эти нули отсутствуют.

Время запаздывания в этом случае примет значение: $\tau = d\Delta t = 5\cdot 2 = 10$ с.

Для проверки эквивалентности полученной ДПФ объекту проведем дискретизацию функции $y(t)$ с шагом $\Delta t = 4$ с.

Заполнив идентификационную матрицу и получив в ней нули, запишем непрерывную дробь:

$$G(z)=\cfrac{0.036z^{-3}}{1+\cfrac{-21.028z^{-1}}{1+\cfrac{18.085z^{-1}}{1+\cfrac{-0.2z^{-1}}{1+\cfrac{0.9z^{-1}}{1-0.123z^{-1}}}}}},$$

свернув которую, получим ДПФ следующего вида:

$$G(z)=\frac{0.036z^{-1}+0.6718z^{-2}+0.5068z^{-3}}{1-2.368z^{-1}+1.9436z^{-2}-0.5173z^{-3}}z^{-2}.$$

Данный объект имеет три одинаковых полюса $z_1^n=0.768$, $z_2^n=0.768$, $z_2^n=0.768$ и два нуля $z_1^н=-17.873$, $z_2^н=-0.788$. Согласно взаимно однозначному отображению $s=Ln(z)/\Delta t$ в s-плоскости будем иметь полюса $s_1^n=-0.0659$, $s_2^n=-0.0659$ и $s_3^n=-0.0659$, а так как $z_1^н<0$, $z_2^н<0$, то в НПФ эти нули отсутствуют.

Время запаздывания в этом случае примет значение: $\tau=d\Delta t=2\cdot 4=8$ с.

Результаты исследования показали, что для $\Delta t=2$ с и $\Delta t=4$ с получили ДПФ, образы нулей и полюсов которых совпали в s-плоскости ($s_1^n=s_2^n=s_3^n=-0.0659$). Следовательно, можно сделать вывод, что полученные ДПФ являются эквивалентными непрерывному объекту. Действительно, если посмотреть на НПФ (1), то она имеет три полюса $s_1^n=-0.0666$, $s_2^n=-0.0666$ и $s_3^n=-0.0666$, что полностью соответствует полученному результату. Однако время запаздывания отличается:

- для $\Delta t=2$ с получили $\tau=10$ с;
- для $\Delta t=4$ с получили $\tau=8$ с.

Перейдем ко второму этапу – определим время запаздывания. Для этого ДПФ преобразуем к НПФ. В результате получим НПФ вида:

$$W(s)=\frac{100}{(\frac{1}{0.0659}s+1)(\frac{1}{0.0659}s+1)(\frac{1}{0.0659}s+1)}.$$

Восстановим непрерывную реакцию объекта при единичном ступенчатом входном воздействии:

$$y(t)=100\left[1-\left(1+0.0659(t-\tau)+(0.0659)^2\frac{(t-\tau)^2}{2}\right)e^{-0.0659(t-\tau)}\right].$$

Для нахождения времени запаздывания τ зафиксируем первое ненулевое измерение переходной характеристики $y(t)=0.036$ и момент времени $t=12$ с.

Составим уравнение относительно неизвестной величины транспортного запаздывания τ, кото-рое примет вид:

$$0.036=100\left[1-\left(1+0.0659(12-\tau)+(0.0659)^2\frac{(12-\tau)^2}{2}\right)e^{-0.0659(12-\tau)}\right]$$

. Полагая $t=12$ с, итерационно уменьшаем значение τ=τ-ε до тех пор, пока не получим численное решение уравнения с заданной точностью ε. При $\varepsilon=0.1$ с время запаздывания $\tau=10$ с.

Сравнивая полученные результаты с исходной функцией (1), можно утверждать о полном восстановлении НПФ объекта:

$$W(s)=\frac{100}{(\frac{1}{0.0659}s+1)(\frac{1}{0.0659}s+1)(\frac{1}{0.0659}s+1)}e^{-10s}.$$

Данный объект имеет три полюса $s_1^n=-0.0666$, $s_2^n=-0.0666$ и $s_3^n=-0.0666$. Примем $\varepsilon=0.05$ с и определим $\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max}$, соответственно:

$$\Delta t_{\min}=-\frac{Ln(1-\varepsilon)}{|\max(-0.0659)|}=\frac{Ln(0.95)}{-0.0659}\approx 0.78\text{ с},$$

$$\Delta t_{\max}=-\frac{Ln(\varepsilon)}{|\min(-0.0659)|}=\frac{Ln(0.05)}{-0.0659}\approx 15\text{ с}.$$

Таким образом, для восстановления ДПФ с по-мощью модифицированного алгоритма В. Виско-ватова шаг дискретизации необходимо выбирать из интервала (0.78; 15). Для синтеза системы регулирования выберем шаг дискретизации кратный времени запаздыва-ния $\tau=10$ с.

Анализируя полученную передаточную функцию объекта управления третьего порядка с запаздыванием, можно утверждать, что структурно-параметрическая идентификация объекта по модифицированному методу В. Висковатова полностью позволила восстановить передаточную функцию идентифицированного объекта.

Проанализировав полученные результаты по идентификации объекта управления модифицированным методом В. Висковатова можно утверждать, что данный метод дает лучшие результаты по сравнению с полученными результатами при идентификации объекта методом А.М. Шубладзе [1], поскольку не позволяет в чистом виде идентифицировать объекты с транспортным запаздыванием.

Таким образом, модифицированный метод В. Висковатова позволяет получить дискретную модель, эквивалентную непрерывному объекту, по исходным данным вход-выходных переменных с высокой точностью.

Список литературы

1. Елисеева А.А., Малышенко А.М. Исследование метода автоматической настройки промышленного ПИД-регулятора // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Труды 6 Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – ТПУ, 2009. – С. 10–11.
2. Карташов В. Я. Структурно-параметрическая идентификация дискретных моделей объектов с запаздыванием для настройки цифровых регуляторов Смита // Известия ТПУ. – ТПУ, т. 5, 2007. – С. 11–18.
3. Карташов В.Я. Эквивалентность дискретных моделей – реальность? // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – №8. – С. 40–44.