Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Г.П. ЧИКИЛЬДИН

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2017

УДК 517.44
Ч-602

Рецензенты:

д-р техн. наук *А.А. Воевода*,
д-р техн. наук *А.С. Толстиков*

Чикильдин Г.П.

Ч-602 Идентификация динамических объектов : учеб. пособие / Г.П. Чикильдин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – 88 с.

ISBN 978-5-7782-3275-4

Рассмотрены вопросы представления объектов управления различными видами математических моделей. Приведены алгоритмы параметрической и непараметрической идентификации. Материал в пособии излагается с точки зрения пользователей алгоритмами оценивания математических моделей динамических объектов и анализа корректирующих параметров этих алгоритмов, обеспечивающих минимум ошибки идентификации.

Чикильдин Геннадий Павлович

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Учебное пособие

Редактор *И.Л. Кескевич*
Выпускающий редактор *И.П. Бровановa*
Корректор *И.Е. Семенова*
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 05.06.2017. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 75 экз.
Уч.-изд. л. 5,11. Печ. л. 5,5. Изд. № 35. Заказ № 804. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

УДК 517.44

ISBN 978-5-7782-3275-4

© Чикильдин Г.П., 2017
© Новосибирский государственный технический университет, 2017

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Под идентификацией динамического объекта управления (ОУ) будем понимать определение математической модели этого объекта по экспериментальным данным, в качестве которых используются входной и выходной сигналы идентифицируемого объекта.

Для иллюстрации постановки задачи идентификации рассмотрим некий линейный стационарный динамический объект, описываемый дифференциальным уравнением вида

$$y^{(n)}(t) + \sum_{i=1}^{n} a_i y^{(i-1)}(t) \sum_{i=1}^{m+1} b_i x^{(i-1)}(t), \qquad m < n.$$

Необходимо определить порядки n и m левой и правой части динамического объекта (ДУ) и коэффициенты a_i, $i \in [1, n]$, b_i, $i \in [1, m+1]$.

Априорной информацией для решения задачи идентификации служат измеренные (как правило, с помехами) входной $x_*(t) = x(t) + \delta x(t)$ и выходной $y_*(t) = y(t) + \delta y(t)$ сигналы объекта, подлежащего идентификации (рис. 1.1)

Наличие аддитивных помех $\delta x(t)$ и $\delta y(t)$, использование численных методов в алгоритмах идентификации (методическая погрешность), обработка информации на ЦВМ (вычислительная погрешность) приводят к тому, что результатом решения задачи идентификации всегда будут лишь оценки искомых параметров математической модели

$$n_o,\ a_{oi},\ i \in [1,\ n_o],\ m_o,\ b_{oi},\ i \in [1,\ m_o + 1].$$

Помехи $\delta x(t)$ и $\delta y(t)$ возникают в результате преобразования сигналов любой физической природы в электрические сигналы вида, удобного для обработки на ЦВМ. Цепочку преобразования можно представить в виде, показанном на рис. 1.2: датчик (первичный преобразователь) $\rightarrow$ нормирующее устройство $\rightarrow$ АЦП $\rightarrow$ буфер памяти.

Все эти устройства несовершенны и вносят искажения в процессе преобразования. Кроме того, может влиять и окружающая среда в виде каких-либо возмущающих воздействий.

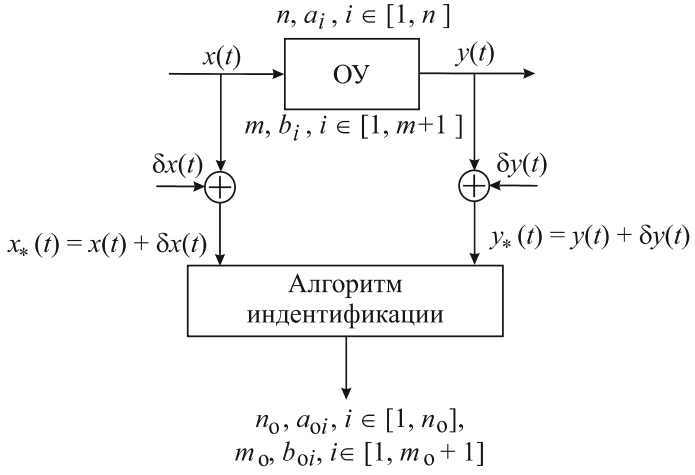


Рис. 1.1



Рис. 1.2

Идентификация называется *активной*, если входной сигнал $x(t)$ – тестовый (подается со специального генератора). Если же он измеряется в процессе нормального функционирования объекта, то имеет место *пассивная* идентификация.

Определение порядков левой n и правой m части дифференциального уравнения называют *структурной* идентификацией, а определение коэффициентов a_i, $i \in [1, n]$, и b_i, $i \in [1, m+1]$ – *параметрической* идентификацией. Это касается и передаточной функции $W(s) = B(s)/A(s)$, где n и a_i, $i \in [1, n]$ – порядок и коэффициенты полинома знаменателя $A(s)$, а m и b_i, $i \in [1, m+1]$ – порядок и коэффициенты полинома числителя $B(s)$.

Задачи определения импульсной, амплитудной частотной и фазовой частотной характеристик называют *непараметрической* идентификацией. Суть решения задачи непараметрической идентификации сводится к вычислению значений той или иной характеристики в каждой точке интервала определения.

Следует отметить частные постановки задачи идентификации, когда определяют не математическую модель, а некоторые свойства объекта управления, например, линейность, стационарность, наличие чистого запаздывания.

Существуют два подхода, на которых базируются алгоритмы идентификации. В первом случае предполагается предварительный сбор информации об объекте с дальнейшей ее обработкой, причем места сбора и обработки могут быть разнесены. Алгоритмы, базирующиеся на таком подходе, называют *ретроспективными*. Если искомые параметры и характеристики определяются по мере поступления априорной информации, в так называемом пошаговом режиме, то алгоритмы называют *рекуррентными*. Рекуррентные алгоритмы используются, например, при идентификации нестационарных объектов или при необходимости уточнения найденных оценок параметров в стационарных объектах.

Идентификацию можно проводить в пошаговом режиме и без поступления новой априорной информации. Такие алгоритмы называют *итерационными*.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Прежде чем говорить об идентификации динамических объектов, рассмотрим типы математических моделей объектов, чаще всего используемых при синтезе систем управления. Будем считать, что объект одномерный, линейный, с сосредоточенными параметрами, без чистого запаздывания, устойчивый.

Дифференциальное уравнение (ДУ)

$$y^{(n)}(t) + \sum_{i=1}^{n} a_i y^{(i-1)}(t) \sum_{i=1}^{m+1} b_i x^{(i-1)}(t), \qquad m < n. \tag{2.1}$$

Уравнению (2.1) при нулевых начальных условиях в объекте соответствует дробно-рациональная передаточная функция (ПФ)

$$W(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{\sum_{i=1}^{m+1} b_i s^{(i-1)}}{s^n + \sum_{i=1}^{n} a_i s^{(i-1)}}, \quad m < n, \tag{2.2}$$

где s – переменная Лапласа.

ДУ (1.1) и ПФ (2.2) характеризуются одной и той же совокупностью параметров n, a_i, $i \in [1, n]$, m, b_i, $i \in [1, m+1]$, и в этом смысле представляют собой адекватные математические модели.

Амплитудно-фазовая характеристика (АФХ)

Если в выражении (2.2) переменную Лапласа s заменить на $j\omega$, (ω – круговая частота), то будем иметь АФХ

$$W(j\omega)=\frac{B(j\omega)}{A(j\omega)}=\frac{\sum\limits_{i=1}^{m+1} b_i(j\omega)^{i-1}}{(j\omega)^n+\sum\limits_{i=1}^{n} a_i(j\omega)^{(i-1)}}=P(\omega)+jQ(\omega). \qquad (2.3)$$

На практике чаще используются амплитудная (АЧХ)

$$H(\omega)=\left|W(j\omega)\right|=\sqrt{P^2(\omega)+Q^2(\omega)} \qquad (2.4)$$

и фазовая (ФЧХ)

$$\varphi(\omega)=\arg W(j\omega)=\operatorname{arc\,tg}\frac{Q(\omega)}{P(\omega)}+k\pi, \quad k=1,2,\ldots \qquad (2.5)$$

частотные характеристики; $P(\omega)=\operatorname{Re}W(j\omega)$ – вещественная часть АФХ; $Q(\omega)=\operatorname{Im}W(j\omega)$ – мнимая часть АФХ; $H(\omega)$, $P(\omega)$ – четные функции частоты; $\varphi(\omega)$, $Q(\omega)$ – нечетные функции частоты.

Интегральное уравнение свертки (*Вольтера первого рода*)

$$y(t)=\int_0^t w(\tau)x(t-\tau)d\tau \qquad (2.6)$$

полностью определяется математической моделью в виде *импульсной характеристики* (ИХ) $w(t)$, удовлетворяющей условию физической реализуемости устойчивого объекта $w(t)=0$ при $t<0$, $\lim\limits_{t\to\infty} w(t)=0$.

Следует отметить, что иногда вместо выражения (2.6) используется интегральное *уравнение Винера–Хопфа*

$$R_{xy}(t)=\int_0^\infty w(\tau)\,R_{xx}(t-\tau)d\tau, \qquad (2.7)$$

где ИХ связывает посредством интегрального оператора не сигналы, а корреляционные функции этих сигналов. Здесь

$$R_{xy}(t)=M_\infty\left\{[x(\tau)-x_0][y(t+\tau)-y_0]\right\}=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T\{\bullet\}d\tau$$

– взаимная корреляционная функция входного и выходного сигналов;

$$R_{xx}(t) = M_{\infty}\left\{[x(\tau) - x_0][x(t+\tau) - x_0]\right\}$$

– автокорреляционная функция входного сигнала;

$$x_0 = M_{\infty}\left\{x(\tau)\right\}, \quad y_0 = M_{\infty}\left\{y(\tau)\right\}$$

– математические ожидания входного и выходного сигналов.

Представленные три типа математических моделей взаимно связаны между собой посредством преобразований Лапласа и Фурье.

Связь между ИХ $w(t)$ и ПФ $W(s)$ осуществляется через пару преобразований Лапласа:

$$W(s) = \mathrm{Lp}\left\{w(t)\right\} = \int_0^{\infty} w(t)e^{-st}dt\,,$$

$$w(t) = \mathrm{Lp}^{-1}\left\{W(s)\right\} = \frac{1}{2\pi}\int_{\sigma-j\omega}^{\sigma+j\omega} W(s)e^{st}ds\,,$$

$t \geq 0$, $\sigma \geq 0$ – радиус сходимости.

Связь между ИХ $w(t)$ и АФХ $W(j\omega)$ осуществляется через пару преобразований Фурье:

$$W(j\omega) = \mathrm{Fo}\left\{w(t)\right\} = \int_0^{\infty} w(t)e^{-j\omega t}dt\,,$$

$$w(t) = \mathrm{Fo}^{-1}\left\{W(j\omega)\right\} = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} W(j\omega)e^{j\omega t}d\omega\,.$$

Разностное уравнение имеет вид

$$y_k + \sum_{i=1}^{\hat{n}} \hat{a}_i y_{[k-(\hat{n}+1-i)]} = \sum_{i=1}^{\hat{m}+1} \hat{b}_i x_{[k-(\hat{n}+1-i)]}. \qquad (2.8)$$