УДК 620. 179; 621. 81

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

А.И. Новгородцев, *канд. техн. наук, доцент;*
Б.К. Лопатченко, *канд. техн. наук, доцент;*
И.М. Ефимов, *студент,*
Сумский государственный университет, г. Сумы

Для оценки параметрического состояния объектов управления (ОУ) стационарных систем разработан метод синтеза системы идентификации состояния нестационарного ОУ в условиях неопределенности априорных сведений об изменении его параметров. Работоспособность системы параметрической идентификации подтверждается экспериментально.
Ключевые слова: *идентификация, алгоритм, априорность, адаптивность.*

Для оцінки параметричного стану об'єктів керування (ОК) стаціонарних систем розроблений метод синтезу системи ідентифікації стану нестаціонарного ОК в умовах невизначеності апріорних свідчень про зміну його параметрів. Роботоздатність системи параметричної ідентифікації підтверджується експериментально.
Ключові слова: *ідентифікація, алгоритм, апріорність, адаптивність.*

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Проблема идентификации состояний объектов управления (ОУ) занимает важное место в теории систем [1, 2]. Обычно ОУ находится в условиях начальной неопределенности, когда его параметры либо заранее известны, либо вообще не могут быть определены до начала функционирования [2]. В связи с этим возникает необходимость оценивать параметрическое состояние ОУ в классе стационарных систем.

Цель исследования состоит в разработке метода синтеза системы идентификации состояния нестационарного ОУ в условиях неопределенности априорных сведений об изменении его параметров.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Многие исследуемые процессы и ОУ [1-5] можно представить в классе стационарных динамических систем. Поведение таких систем описывается нестационарным дифференциальным уравнением вида

$$a(t)\cdot\dot{y}(t)+y(t)=x(t);\quad 0<t<T_0, \tag{1}$$

где $a(0)=a_0$, $\dot{y}(0)=0$, $y(0)=y_0$ - начальные условия;

$y(t)$, $x(t)$ – измеряемые сигналы на выходе и входе системы соответственно;

t – время;

T_0 – длительность интервала наблюдения за входом и выходом системы;

$a(t)$ – неизвестная нестационарная постоянная времени, являющаяся непрерывной непериодической функцией времени.

Требуется синтезировать систему идентификации нестационарного динамического процесса вида (1), алгоритм работоспособности которой обеспечивает асимптотическую устойчивость по Ляпунову и необходимое качество оценки параметра $\hat{a}(t)$ при выполнении условий квазистационарности

$$\Delta a(t) << [\Delta x(t_k), \Delta y(t_k)] \tag{2}$$

на интервале

$$n\,T_н \le t_k \le (n+1)\,T_н \mid \; T_н << T_0, \tag{3}$$

выбранном между двумя дискретными состояниями ОУ зависящими от вариации входного Δx и выходного $\Delta y(t_k)$ сигналов, после перестройки $\Delta a(t)$ параметров системы идентификации в предположении справедливости ограничения

$$T_н = 3\cdot a_o. \tag{4}$$

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Учитывая то, что имеет место выполнение ограничений (2) – (4), найдем передаточную функцию $W_o(p)$ квазистационарного объекта. Для этого представим нестационарное дифференциальное уравнение (1) в операторной форме

$$W_o(p)=(a\cdot p+1)^{-1}. \qquad (5)$$

Снимая наложенные ограничения квазистационарности, параметр объекта a становится функцией времени $a(t)$. Тогда можно определить параметрическую передаточную функцию $W_м(p, t)$ модели исследуемого объекта

$$W_м(p, t) = [a_м(t)\cdot p+1]^{-1};\ \ 0 < t < T_о. \qquad (6)$$

Рассматривая решение задачи оценки $\hat{a}(t)$ параметра $a(t)$ как много шаговый итерационный процесс, последнее будем искать в классе стационарных систем. Оно заключается в том, что параметр $a(t)$ исследуемого объекта идентифицируется контуром самонастройки в дискретные моменты времени

$$[n\cdot T_н,\ (n+1)\cdot T_н, \ldots, (n+k)\cdot T_н\ ] << T_o,$$

таким образом, чтобы минимизировать критерий идентификации

$$J = f\,[E], \qquad (7)$$

зависящий от ошибки рассогласования E выходных сигналов объекта $y_o(t_k)$ и его модели $y_м(t_k)$ на интервале квазистационарности (3).

В рассматриваемой задаче вследствие того, что на вход системы (1) поступает сигнал $x(t)$, представляющий собой процесс аддитивно-мультипликативного класса, в качестве критерия идентификации (7) могут быть приняты лишь функционалы интегрального типа. Из интегральных критериев наиболее применим критерий минимума среднего квадрата ошибки (СКО)

$$J = \frac{1}{T_H}\int_0^{T_H}[E(a,t_k)]^2\cdot dt_k \to \min. \qquad (8)$$

Критерий (8) обладает рядом достоинств, главными из которых являются следующие [5]:

- критерий минимума СКО достаточно хорошо оценивает большие и длительные ошибки, случайные кратковременные выбросы слабо отражаются на его величине;
- при наличии шумов оценка по методу наименьших квадратов дает наилучшее приближение;
- критерий минимума СКО, как правило, обеспечивает хорошую форму поверхности функционала;
- критерий минимума СКО удобен при проведении различных математических операций и дает наглядное представление при минимизации о структуре системы идентификации.

Таким образом, для решения задачи синтеза необходимо выбрать итерационный процесс поиска минимизируемого функционала идентификации (8)

$$J\,[E\ (a,\ t_k)] \to min \qquad (9)$$

т. е. отделение процесса определения величины и направления изменения $\Delta\, a_м(t)$ параметра $a_м(t)$ от процесса перестройки модели.

Подставив в (9) выражения из (6) и (5) с учетом (8), получим

$$J\,[p,\Delta a_м(t_k)] = \frac{1}{T_H}\int_0^{T_H} L^{-1}[Y_0(p,t_k) - \frac{x(p)}{a_м(t_k)\cdot p+1}]^2\cdot dt_k \to \min, \qquad (10)$$

где L^{-1} – символ обратного преобразования Лапласа [1];

$Y_o\ (p,\ t_k)$ – реакция объекта на изображение входного сигнала $x(p)$.

Для нахождения структуры системы идентификации и ее алгоритма функционирования необходимо осуществить минимизацию функционала идентификации (10) по настраиваемому параметру $a_м(t_k)$. Взяв частную производную от минимизируемого функционала по настраиваемому параметру на интервале квазистационарности (3), получим

$$\left[\frac{\partial J[p,\Delta a_м(t_k)]}{\partial a_м(t_k)}\right]_{n+1} = \frac{2}{T_H}\int_0^{T_H} L^{-1}\left[Y_0(p,t_k) - \frac{X(p)}{a_м(t_k)\cdot p+1}\right]_n \times \left[\frac{p\cdot X(p)}{[a_м(t_k)\cdot p+1]^2}\right]_n \cdot dt_k \; ; \quad (11)$$

$$a_м(t_k)_{\;n+1} = a(0) + \sum_{n=1}^{N} \Delta a_м(t_k)_{\;n} \; ; \quad (12)$$

$$\Delta a_м(t_k)_{\;n} = -\lambda\left[\frac{\partial J[p,\Delta a_м(t_k)]}{\partial a_м(t_k)}\right]_n , \quad (13)$$

где $N = T_0/T_H$,

λ – весовой коэффициент контура самонастройки.

Знак “минус” в (13) указывает на то, что минимизируемый функционал по мере приближения параметра модели к параметру объекта убывает, что обеспечивает процессу поиска экстремума устойчивость по Ляпунову, а, следовательно, уравнения (11) – (13) физически реализуемы.

Полученная система уравнений (11) – (13) представляет собой математическую модель и алгоритм функционирования системы идентификации нестационарного динамического процесса (1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Работоспособность метода исследовалась на персональном компьютере по следующей схеме. Поведение ОУ имитировалось нестационарным разностным уравнением первого порядка

$$y(i) = a(t)\cdot y(i-1) + x(i), \; i = 1, 2, \ldots,$$

где $a(t)$ – функция времени, изменяющаяся в каждой i-реализации случайным образом;

$x(i)$ – гаусовская случайная последовательность с нулевым средним и единичной дисперсией.

Закон изменения случайной функции $a(t)$ имеет вид

$$a(t) = \begin{cases} a_0, P_0 = P\; a(t) = a_0 & = 1-\varepsilon \\ a_1, P_0 = P\; a(t) = a_1 & = \varepsilon \end{cases},$$

где a_k – значения функции $a(t)$, соответствующие стационарным (k =0) и нестационарным (k =1) состояниям ОУ;

P_k – вероятности того, что ОУ находится в стационарном (k=0) и нестационарном (k=1) состоянии;

ε – уровень нестационарности ОУ ($0 < \varepsilon < 0,5$).

В качестве модели ОУ использовался формирующий фильтр, выходной сигнал которого распределен по закону

$$W(y) = (1-\varepsilon)N_o(y, a_o, \sigma_o) + \varepsilon N_1(y, a_1, \sigma_1),$$

где $N_k(y,a_k,\sigma_k)$ – гаусовские распределения с математическими ожиданиями a_k и среднеквадратическими отклонениями σ_k, соответствующие стационарным k=0 и нестационарным состояниям ОУ.

Целью эксперимента являлось нахождение устойчивой оценки $\hat{a}_o$ математического ожидания a_o для стационарного состояния ОУ. В ходе проведения эксперимента установлено, что устойчивой оценкой является медиана распределения выходного сигнала модели ОУ

$$\int_{-\infty}^{\hat{a}_o} W(y)dt = 0,5 .$$

При использовании медианы критерий СКО имеет вид

$$J(\varepsilon) = M[(a_o - \hat{a}_o)^2 | 0 < \varepsilon < 0,5] . \quad (14)$$

График зависимости $J(\varepsilon)$ (рис. 1) показывает, что смещение медианы практически не зависит от ε.

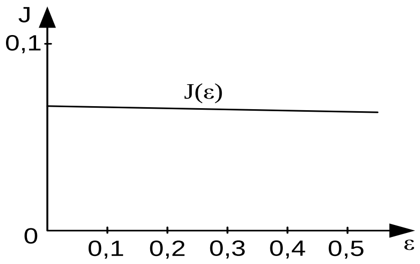

Рисунок 1 – Зависимость (14) для ряда уровней нестационарности ОУ

Полученные экспериментальные результаты подтверждают работоспособность системы параметрической идентификации на основе (11) – (13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная новизна исследования состоит в том, что поставлена и решена задача идентификации параметрического состояния ОУ в условиях неопределенности статистической природы.

Практическая ценность заключается в простоте технической реализации системы идентификации.

SUMMARY

SYNTHESIS OF PARAMETRIC STATE OF NONSTATIONARY IDENTIFICATION SYSTEM OF CONTROL OBJECTS

A.I. Novgorodsev, B.K. Lopatchenko, I.M.Ephimov,
Sumy State University, Sumy

The method of synthesis of identification system of state of a nonstationary control object at uncertainty of a priori information on change of its parameters is developed for estimation of parametric state of control objects of stationary systems in the paper. Capacity for work of the system of parametric identification is confirmed by experiments.

Key words*: identification, algorithm, apriority, adaptation.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управления / Р. Ли. – М.: Наука, 1996. - 176 с.
2. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелса. – М.: Связь, 1976, - 495 с.
3. Ярышев М. А. Теоретические основы измерения нестационарных температур / М. А. Ярышев. – Л.: Энергия, 1967. – 300 с.
4. Доценко С. В. Теоретические основы измерения физических полей океана / С. В. Доценко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 152 с.
5. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А. А. Фельдбаум. – М.: Наука, 1966. – 270с.
6. Володченко Г.С. Синтез алгоритма оценки фазового состояния динамического процесса одного класса / Г.С. Володченко, А.И. Новгородцев, А.Д. Полонский //Вісник Сумського державного університету. – 1996. - №5. – С. 96-98.

Поступила в редакцию 28 апреля 2011 г.