

УДК 62.501

## О ПРОБЛЕМЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Корнеева<sup>1</sup>, М. Е. Корнет<sup>2</sup>  
Научный руководитель – А. В. Медведев

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79/10

<sup>2</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева  
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: anna.korneeva.90@mail.ru

*Рассматривается задача идентификации и управления последовательными объектами в условиях неполной информации. Среди последовательно соединенных объектов могут быть объекты как динамические, так и безынерционные с запаздыванием. Подобного рода технологические цепочки часто имеют место в аэрокосмической отрасли. Проблема комплексного управления группой технологических объектов, безусловно, относится к разряду актуальных. Отсюда возникает целый комплекс задач идентификации и управления, обусловленных тем, что априорная информация о них может быть различной.*

*Ключевые слова: идентификация, управление, дискретно-непрерывный процесс, адаптивные алгоритмы, непараметрические модели, непараметрическое дуальное управление.*

## ABOUT THE PROBLEM OF NONPARAMETRIC DUAL CONTROL SYSTEMS

<sup>1</sup>A. A. Korneeva, <sup>2</sup>M. E. Kornet  
Scientific supervisor – A. V. Medvedev

<sup>1</sup>Siberian State University

79/10, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

<sup>2</sup>Reshetnev Siberian State Aerospace University

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

E-mail: anna.korneeva.90@mail.ru

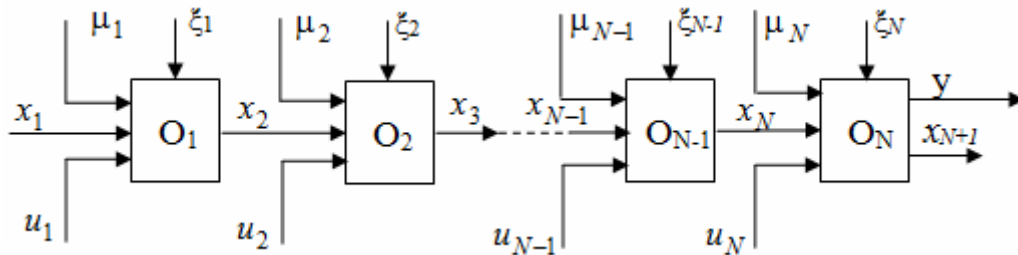
*We consider the problem of identification and control a sequence of objects in conditions of incomplete information. Among the series-connected objects may be objects both dynamic and inertialess with delay. This kind of process chains often takes place in the aerospace industry. The problem of integrated management of technological process group certainly belongs to the category of topical. This raises a whole range of problems of identification and control due to the fact that a priori information about them can be different.*

*Keywords: identification, control, discrete-continuous process, adaptive algorithms, nonparametric models, nonparametric dual control.*

**Введение.** Для различных отраслей промышленности типичными являются последовательная, параллельная или последовательно-параллельная схема производства. В некоторых случаях производственный процесс охвачен перекрестными связями, что часто приводит к нелинейным системам. Таким образом, речь идет не о каком-то локально объекте (плавильная печь, энергоблок, обжиговая печь, измельчительный агрегат и т. д.), а о группе объектов. Подобные схемы встречаются и в аэрокосмической области. Система группового управления объектом естественно соответствует более высокому уровню иерархии, чем система управления локальным объектом. Конечно же, важным как и вообще в теории идентификации и управления, является объем априорной информации о различных каналах объектов. Не менее важными являются также и средства контроля соответствующих объектов. В зависимости от этого даются и соответствующие математические постановки задач иден-

тификации и управления, которые для различных разрезов технологического процесса могут оказаться существенно отличающимися. В дальнейшем делается акцент на формулировку вышеназванных задач в условиях как параметрической, так и непараметрической неопределенности. В первом случае, как известно [1], необходимо представление модели объекта с точностью до вектора параметров с дальнейшей их оценкой по мере поступления текущей информации. Во втором случае можно ограничиться лишь качественными свойствами исследуемого процесса с последующей оценкой оператора объекта (чаще всего интегральных), по результатам выборки наблюдений [2].

**Постановка задачи.** Рассмотрим следующую схему технологического процесса, которая достаточно часто встречается на практике (см. рисунок).



Общая схема технологического процесса

Здесь приняты следующие обозначения:  $O_i, i = \overline{1, N}$  – технологические объекты;  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$  – это характеристики, определяющие состав исходного продукта  $x_1$  и полуфабрикатов  $x_2, \dots, x_N$ , поступающих на вход технологических объектов;  $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$  – всевозможные добавки, поступающие на входы объектов;  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_N)$  – управляющие воздействия,  $\boldsymbol{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$  – внешние помехи, действующие объекты технологической цепочки. Как видно из рисунка, технологический процесс представляет собой последовательность локальных объектов.

Последний объект технологической цепочки  $O_N$  имеет две выходные переменные. Первая из них  $y$  – это параметр, характеризующий качество готового продукта (изделия). Особенностью здесь является то, что параметр  $y$  измеряется через значительные промежутки времени и поэтому не может быть использован при управлении процессом. Выходная переменная  $x_{N+1}$  – это переменная, косвенно характеризующая готовый продукт, но контролируемая через значительно меньший промежуток времени по сравнению с переменной  $y$ . В этом случае управление процессом осуществляется исходя из результатов измерений переменной  $x_{N+1}$ .

В общем случае все описанные переменные представляют собой векторы. Для простоты рассмотрим скалярный случай. Характеристики выходных переменных  $x$  могут быть представлены в виде следующей зависимости:

$$x_{i+1}(t) = f(x_i(t - \tau), u_i(t - \tau), \mu_i(t - \tau), \xi_i(t - \tau)), i = \overline{1, N-1}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – запаздывание, которое по разным каналам связи может отличаться, но из соображений простоты в тексте мы приняли единое обозначение запаздывания  $\tau$ .

**Идентификация и управление объектами технологической цепочки.** В зависимости от уровня априорной информации об объекте исследования выделяют методы идентификации в «узком» и «широком» смысле [3], иначе говоря, методы параметрической [1] и непараметрической [4] идентификации.

Методы параметрической идентификации предполагают значительный объем априорных сведений об исследуемом объекте, позволяющий обоснованно выбрать структуру параметрической модели, и соответственно, построить ее. В общем случае параметрическую модель можно записать следующим образом:

$$\hat{x}_{i+1}^\alpha = A_i^\alpha(x_i, u_i, \mu_i, \alpha), i = \overline{1, N-1}, \quad (2)$$

где  $A_i^\alpha$  – параметрическая структура для локального объекта  $O_{(i+1)}$ ,  $\alpha$  – вектор параметров. Структура  $A$  определяется для каждого локального объекта индивидуально.

В условиях недостатка априорной информации целесообразно использовать методы непараметрической идентификации. В этом случае непараметрическая модель локального объекта  $O_{(i+1)}$  будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{x}_{j+1}^s = \frac{\sum_{i=1}^s x_j \Phi\left(\frac{x_j - x_j^i}{c_s^{x_j}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_j^i}{c_s^{\mu_j}}\right) \Phi\left(\frac{u_j - u_j^i}{c_s^{u_j}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_j - x_j^i}{c_s^{x_j}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_j - \mu_j^i}{c_s^{\mu_j}}\right) \Phi\left(\frac{u_j - u_j^i}{c_s^{u_j}}\right)}, j = \overline{N-1}, \quad (3)$$

где  $\Phi(\cdot)$  – ядерная колоколообразная функция;  $c_s$  – коэффициент размытости ядра, соответствующий каждой переменной объекта;  $s$  – объем выборки наблюдений. Ядерная функция и коэффициент размытости ядра удовлетворяют некоторым условиям сходимости.

**Заключение.** Как было сказано ранее, мы можем обладать различными объемами априорной информации о каждом локальном объекте технологической цепочки. В одних случаях этого объема будет достаточно для построения параметрической модели типа (2). В других случаях необходимо применять методы идентификации в «широком» смысле (3). Таким образом, система моделей, описывающая поведение всего технологического процесса, будет представлять собой синтез параметрических и непараметрических алгоритмов.

### Библиографические ссылки

1. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М. : Наука, 1968. 400 с.
2. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск : Наука, 1983. 173 с.
3. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М. : Мир, 1975. 681 с.
4. Кошкин Г. М., Пивен И. Г. Непараметрическая идентификация стохастических объектов. Хабаровск : РАН Дальневосточное отделение, 2009. 336 с.

© Корнеева А. А., Корнет М. Е., 2015