

лавров /Л.А. Грищенко, И. В. Евдокимов. Св. ГР № 2012620919 Рос. Федерация; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 13.09.12.

6. Управление персоналом (bav-lavr\_U.P v.1.2): учеб.-методический ком-

плекс направления подготовки бакалавров / Н.Ю. Козина, И.В. Евдокимов. Св. ГР № 2012620919 Рос. Федерация; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 13.09.12.

УДК 658.5.012.14; 681.5.015

## ПРОЦЕДУРА ИДЕНТИФИКАЦИИ КАК ЭТАП СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

*И.В. Евдокимов, канд. техн. наук  
БрГУ, Братск*

*В работе предложен метод идентификации нелинейных систем в классе блочно-ориентированных моделей, основанный на методе составления и решения системы корреляционных уравнений. Создано программное обеспечение, реализующее разработанные вычислительные алгоритмы и позволяющее проводить структурную и параметрическую идентификацию нелинейных динамических объектов в классе моделей фильтра Заде с использованием входного сигнала в виде суммы гармонических компонент. Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение №14.В37.21.2114.*

**Ключевые слова:** нелинейные системы, идентификация объектов, нелинейные математические модели, программа для ЭВМ, блочно-ориентированные модели, фильтр Заде, модели Гаммерштейна, планирование эксперимента.

Теория идентификации в настоящее время является одним из наиболее интенсивно развивающихся разделов общей теории управления. Основное внимание при этом уделяется идентификации в классе нелинейных динамических моделей, которые наиболее адекватно отражают самые существенные и значимые характеристики большинства современных реальных производственно-технических, экономических и др. объектов. Действительно, современные системы управления разрабатываются, в основном, для производственных процессов, являющихся сложными многоэлементными системами. Если не вникать во внутреннюю структуру исследуемого объекта, а моделировать связь между его входным и выходным процессами, то это приводит к значительному упрощению модели. Задача идентификации объектов составляет

один из основных этапов создания систем управления и принятия решений.

В то же время, идентификация нелинейных динамических объектов (НДО) является принципиально более сложной и объемной задачей, чем линейная идентификация, представляющая частный случай нелинейной. Наиболее часто используемым на данный момент подходом к проблеме идентификации НДО является априорное задание некоторого (по возможности – достаточно представительного) класса допустимых моделей. В качестве такого класса в настоящем исследовании выбран так называемый фильтр Заде, позволяющий достаточно адекватно описывать широкий класс реальных объектов [1].

Такого типа модели относятся к классу блочно-ориентированных моделей. Они достаточно эффективны для описания сложных технологических процессов, ха-

рактерных, в частности, для металлургической и химической отраслей. Представление нелинейных систем в виде различных комбинаций нелинейных безынерционных элементов и инерционных звеньев позволяет связать в явном виде входные и выходные переменные объектов с различной структурой и степенью нелинейности. В то же время, в области экономической кибернетики огромное множество задач имеет следующий характер: необходимо управлять процессом перевода исследуемой системы в то состояние, которое нужно. Следовательно, основным объектом изучения в экономической кибернетике являются нелинейные математические модели [2].

Методы идентификации нелинейных моделей классифицируют по различным признакам: по виду сигналов в системе, по способу описания систем, по характеру проведения экспериментов, по виду тестовых сигналов, по способу обработки результатов, по типу нелинейности в нелинейных динамических системах и т. д. Методы идентификации разделяют на методы структурной, непараметрической и параметрической идентификации. Эффективность (по временным затратам на проведение экспериментов и обработку результатов на ЭВМ) методов непараметрической и параметрической идентификации зависит прежде всего от наличия информации о виде функционального оператора модели. Для осуществления метода параметрической идентификации требуется наличие большего количества информации, чем необходимо для методов непараметрической идентификации, т. к., кроме знаний о виде модели, необходимо иметь аналитические выражения для импульсных переходных функций и диапазон распределения постоянных времени.

Различают методы активной и пассивной идентификации. В первом случае используются специально выбранные тестовые сигналы, а во втором – сигналы, возникающие в процессе нормальной эксплуатации объектов. Каждый из этих методов имеет как достоинства, так и не-

достатки. При пассивной идентификации не нарушаются технологические режимы работы объектов, но при ней трудно получить полную информацию об объектах из-за ограниченности динамических и частотных диапазонов сигналов, существующих на входах объектов в процессе их нормальной эксплуатации. Для получения более полной информации при пассивной идентификации необходимо проводить длительное наблюдение за объектом. Однако с позиции экономии материальных средств проводить длительные эксперименты не всегда целесообразно. Часто бывает, что более высокие экономические показатели можно получить, прерывая технологические процессы и проводя активную идентификацию.

Активная идентификация обеспечивает эффективное получение адекватных моделей с минимальными временными и материальными затратами. В этом виде идентификации используются различные сигналы: скачки, гармонические и периодические сигналы, случайные и псевдослучайные широкополосные сигналы. Среди них наиболее важное место занимают гармонические и широкополосные тестовые сигналы [3]. Тестирование линейных систем гармоническими сигналами дает важнейшее преимущество – достигается частотная избирательность метода. Следовательно, частотные характеристики систем можно исследовать в очень узком частотном диапазоне, и именно тех их участков, в которых содержится информация о степенях полиномов числителя и знаменателя в передаточной функции. Зачастую гармонические сигналы использовались для решения задач непараметрической и параметрической идентификации моделей Гаммерштейна, Винера и Винера-Гаммерштейна, но не была достигнута частотная избирательность, поскольку анализ проводился по всем гармоникам выходного сигнала. Структуру модели НДО можно получить, если будет достигнута частотная избирательность методов на гармонических сигналах. Она достигается за

счет анализа только двух гармоник на выходе НДО – первой и второй.

Эффективность методов идентификации на гармонических сигналах понижается при увеличении количества разночастотных гармонических сигналов, подаваемых на вход НДО последовательно во времени. Причина понижения эффективности – наличие большого числа переходных участков [4] в выходном сигнале, которые необходимо отбрасывать или компенсировать более длительным наблюдением выходной реализации. Существенно снизить временные затраты позволяет использование широкополосных тестовых воздействий.

Применение широкополосных тестирующих сигналов, образованных суммой многочастотных гармонических компонент, позволит соединить методы структурной и параметрической идентификации, т. к. последовательность действий по определению структур и параметров моделей в большей и самой трудоемкой своей части будет общая, независимо от того, какая из этих задач решается. Процедура идентификации на основе использования суммы гармонических компонент предполагает определение вида функционалов, аналитических выражений для импульсных переходных функций, областей распределения параметров (постоянных времени) импульсных характеристик.

Предложенные в [1] метод и алгоритмы позволяют решить задачу структурной и параметрической идентификации нелинейных динамических объектов (НДО) класса фильтра Заде и Гаммерштейна на основе использования суммы гармонических тест-сигналов:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n u_i \sin(\omega_i t),$$

где  $x(t)$  – сигнал на входе модели фильтра Заде;  $u_{(i)}$  – амплитуды;  $\omega_{(i)}$  – частота гармонического сигнала.

Отличительной особенностью метода является то, что анализ систем, независимо от степени нелинейного преобразования, проводится по первой и второй гар-

моникам выходного сигнала. Для реализации процедур идентификации данного метода используется измерительно-вычислительная система, представленная на рис. 1.

В данном случае для компенсации сдвига фазы компоненты тестирующего сигнала имеет место задержка во времени входного сигнала.

На рис. 1  $K_{(i)}^{(k)}(\tau)$  – взаимные корреляционные функции (ВКФ) между  $k$ -ой компонентой тестового сигнала либо квадратом  $k$ -ой компоненты и выходным сигналом,  $\omega_k$  – частота  $k$ -ой синусоидальной компоненты,  $k = \overline{1, m}$ .

Системы уравнений идентификации разрабатываемого метода получены индуктивным методом, а именно: сначала уравнения выведены для случая, когда тест-сигнал состоит из одной синусоиды, потом – из двух синусоид, и так до тех пор, пока выявленные в уравнениях очевидные закономерности не позволили рассмотреть общий случай для  $m$  тестовых компонент в сигнале.

Уравнения идентификации НДО в классе моделей типа фильтр Заде и Гаммерштейна при использовании тест-сигнала в виде суммы гармонических компонент с постоянной составляющей  $x_0$ :

$$K_{xy}(\pm\tau) = \sum_{i=1}^n a_i \sum_{k=1}^{l_1} \frac{i!}{(i-2k+1)!2^{2k-1}(k-1)!k!} \cdot x_0^{i-2k+1} \times \\ \times g_{2k-1}(\omega_n, \pm\tau) u^{2k},$$

$$K_{x^2y}(\pm\tau) = \sum_{i=1}^n a_i \sum_{k=1}^{l_2} \frac{i!}{(i-2k)!2^{2k+1}(k-1)!(k+1)!} \cdot x_0^{i-2k} \times \\ \times g_{2k}(\omega_n, \pm\tau) u^{2k+2},$$

где  $g_{2k}(\omega_n, \pm\tau) = K_{2k}(2\omega_n) \cos\{\pm 2\omega_n \tau - \psi_{2k}(2\omega_n)\}$ ,  
 $g_{2k-1}(\omega_n, \pm\tau) = K_{2k-1}(\omega_n) \cos\{\pm \omega_n \tau - \psi_{2k-1}(\omega_n)\}$ .

$K_{xy}$  – ковариационная функция, вычисляемая между синусоидальной компонентой тестирующего воздействия и выходным сигналом объекта;  $K_{x^2y}$  – ковариационная функция, вычисляемая между квадратом синусоидальной компоненты тестирующего воздействия и выход-

ным процессом;  $u$  – амплитуда тестирующего воздействия;  $\omega_n$  – частота  $n$ -ой гармонической составляющей тест-сигнала;  $a(\cdot)$  – коэффициенты полинома нелинейного звена;  $K_{2k}(\cdot)$  – модуль ком-

плексного коэффициента передачи линейного звена четной ветви в модели фильтра Заде;  $\psi_{2k}(\cdot)$  – фазовые характеристики.

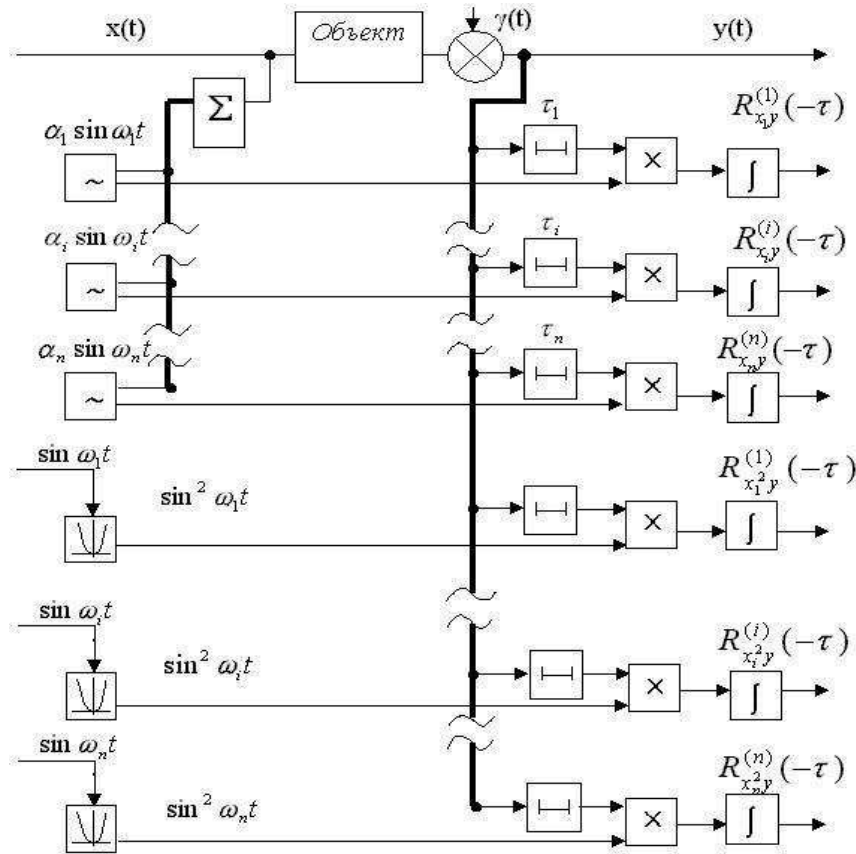


Рис. 1. Структурная схема измерительно-вычислительной системы с задержкой во времени выходного сигнала.

Итак, для реализации вычислительно-экспериментального эксперимента было разработано соответствующее программное обеспечение – программа для ЭВМ IdentNDO v.1.0. Программа позволяет задавать передаточную функцию нелинейной математической модели в форме с постоянными времени, а также количество тестирующих синусоидальных компонент и их параметры. В программу входят модули обработки данных по процедурам МНК, вычисления значений взаимных корреляционных функций между  $i$ -ой гармоникой и выходным сигналом, а также между квадратом  $i$ -ой гармоники и выходным сигналом [4]. Испытания объекта проводились при различных амплитудах тест-сигнала и

различных частотах синусоидальных компонент. При регистрации выходного процесса переходные участки отбрасывались.

Выходными данными программы являются значения частотно-временных критериев и их логарифмические амплитудно-частотные характеристики, анализ которых обеспечивает получение адекватной математической модели объекта в классе фильтра Заде.

#### Литература

Евдокимов И.В., Буштрук Т.Н., Буштрук А.Д. Алгоритмы структурной и параметрической идентификации одного класса моделей нелинейных динамиче-

ских объектов // Интеллектуальный потенциал ВУЗов – на развитие дальневосточного региона России: материалы VI междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 19 – 20 мая. Кн. 1. Институт информационных технологий и технических систем. Владивосток, 2004. С. 33 – 36.

2. Шиян А.А., Самар Е.Г. Система критериев для управления совокупностью социально-экономических систем в условиях неопределенности // Вестник Технологического университета Подолья (Хмельницкий, Украина). 2002. № 2. Ч.1. С. 333-336.

3. Евдокимов И.В. Использование суммы гармонических сигналов с постоянной составляющей при идентификации нелинейных динамических объектов // Актуальные проблемы современной науки: тр. 1-го междунар. форума (6-й междунар. конф.) молодых учёных и студентов. Естественные науки. Ч. 18: Информатика и АСУ. Самара, 2005 г. С. 48 – 51.

4. Евдокимов И.В., Краковский Ю.М. Структурно-параметрическая идентификация сушильной камеры непрерывного действия // Применение математических методов и информационных технологий в экономике и праве: сб. ст. Иркутск, 2006. Вып. 6. С. 25-30.

УДК 004.4; 336.6

## СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ХОЗЯЙСТВУЮЩЕГО СУБЪЕКТА

*М.Ю. Иванов, канд. техн. наук  
БрГУ, Братск*

*Приведены систематизированные материалы, определяющие математический аппарат, методику разработки и программную реализацию экспертных информационных систем в экономике на примере экспресс-оценки хозяйствующего субъекта (уровня профессионализма управления развитием и дивидендной политикой коммерческого предприятия). Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.2114.*

**Ключевые слова:** информационная система, хозяйствующий субъект, оценка деятельности, финансово-экономические показатели.

В России самыми известными из класса экспертных систем являются консультативно-советующие аудиторские системы, к главной задаче которых относится оценка действий администрации предприятия или отдельно взятого менеджера за отчетный период. Кроме того, эти системы осуществляют поиск путей повышения уровня эффективности хозяйствования и в последующие периоды [1].

Основные компоненты оценочной системы представлены на **рис. 1**.

*Модуль локальной оценки* представляет собой комплекс программ, предназначенных для расчета локальных, то есть, мало связанных между собой экономических показателей, характеризующих лишь одну из сторон многогранной деятельности администрации предприятия или менеджера.

*Модуль комплексной оценки* объединяет программы, позволяющие осуществлять расчеты множества связанных показателей, интегрированные результаты которых свидетельствуют о состоянии хозяй-