

НАУКА УПРАВЛЕНИЯ НА ПУТИ СОЗДАНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ (по материалам IX международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '12)

Рассмотрены некоторые научные аспекты IX международной конференции, которые в основном отражают формирующуюся в настоящее время тенденцию превращения научного знания об идентификации объектов управления в общую теорию идентификации. Приведен краткий обзор тематики конференции и содержания некоторых докладов.

Ключевые слова: идентификация систем, общая теория идентификации, инженерная практика, конференция, обзор.

ВВЕДЕНИЕ

В Москве, в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН с 30 января по 2 февраля 2012 г. состоялась IX международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'12. В ее организации участвовали Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Российский национальный комитет по автоматическому управлению, Российский фонд фундаментальных исследований (проект РФФИ 12-01-06004), Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН.

Цели конференции: подвести итоги достигнутый в области разработки математических и методологических основ структурной, параметрической и непараметрической идентификаций; обсудить результаты и проблемы применения методологии и математических средств идентификации в процессе решения инженерных задач; выделить наиболее перспективные направления и наметить пути их дальнейшего развития; объединить усилия специалистов, заинтересованных в обсуждении и исследовании проблем идентификации, и способствовать установлению личных контактов между ними.

Ее основные темы: теория и методология моделирования, идентификации и управления; структурная, параметрическая и непараметрическая идентификации; интеллектуальные методы моде-

лирования, идентификации и управления; теория систем управления с идентификатором; методологическое, математическое и программное обеспечение прикладных задач идентификации систем; имитационное моделирование; инженерное моделирование слабо изученных объектов управления; методы верификации и оценки качества программного обеспечения сложных систем.

В программу конференции были включены 3 пленарных и 77 секционных докладов. Полные тексты 80 докладов (14 из них представлены исследователями, работающими в 11-ти зарубежных странах) опубликованы на компакт-диске, который официально зарегистрирован (ISBN 978-5-91450-098-3) как сборник Трудов конференции объемом 1168 стр. и тиражом 500 экз. [1].

На конференции работали шесть секций: структурная и параметрическая идентификации; стохастические системы и непараметрическая идентификация; интеллектуальные методы моделирования, идентификации и управления; приложения методов идентификации; сложные системы; адаптивные и робастные системы.

Содержание нынешней конференции отличалось от предыдущих особым акцентом на развитие математических основ структурной и непараметрической идентификаций; интеллектуальных методов идентификации; теории и методологии идентификации на предпроектных и проектных стадиях создания систем автоматического управ-

ления; предсказательного моделирования в информационно-управляющих системах.

В настоящем сообщении рассмотрены только некоторые научные аспекты конференции, которые в основном отражают формирующуюся в настоящее время тенденцию превращения научного знания об идентификации объектов управления в общую теорию идентификации. Термин «общая теория идентификации объектов управления» понимается в широком смысле, т. е. данная теория, как минимум, должна содержать методы и средства, которые необходимы для экспериментального построения математической модели объекта управления любой природы и любого начального уровня изученности в целях проектирования системы автоматического управления (САУ) или в целях управления этой системой.

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ И ИНЖЕНЕРНАЯ ПРАКТИКА

На предпроектных стадиях создания САУ объекты управления можно классифицировать на адекватно, хорошо и слабо изученные объекты, а также объекты другой степени изученности.

Адекватно изученным объектом управления назовем реальный объект, детально изученный в естествознании, где для него сконструирована адекватная математическая модель. Математические основы теории автоматического управления, созданные в 1960-х гг., как раз и предназначались для решения задач проектирования САУ, состоящей из адекватно изученного объекта управления и автоматического управляющего устройства. Данный этап развития теории точно характеризуют следующие высказывания Р. Калмана [2, с. 64]: «О теории адаптивного управления много и долго говорят, но в ней очень мало сделано»; «В задаче неадаптивного управления (когда информация о структуре объекта имеется) предполагается, что динамические свойства объекта известны в точности, и остается «только» определить текущее состояние в каждый момент времени»; «Мы считаем задачу адаптивного управления задачей будущего и не станем останавливаться на ней здесь».

Хорошо изученным объектом управления назовем реальный объект, любое достоверное математическое описание которого не содержит структурных параметров, но включает в себя конечное число постоянных и переменных неструктурных параметров, причем только приемлемые значения постоянных неструктурных параметров коллектив разработчиков намерен определить на предпроектных стадиях на основе экспериментальных данных. Структурным параметром считается буквенная константа математического описания объекта управления, которая интерпретируется как поря-

док уравнения или размерность вектора, или как множество допустимых значений переменной, параметра, вектора переменных или параметров. Неструктурным параметром называется любой параметр математического описания объекта управления, который не является структурным параметром.

Научное исследование проблем адаптивного управления хорошо изученным объектом началось в первой половине 1950-х гг. В 1958 г. Р. Калман и А.А. Красовский предложили первые два алгоритма адаптивного управления. Однако существенные результаты в данном направлении были получены только в 1970-х гг. [3–6]. В настоящее время теория адаптивного управления представляет собой хорошо развитую математическую дисциплину, к которой имеется большое число собственных методов синтеза алгоритмов адаптивного управления. Однако ошибочно полагать, что развитие математического аппарата теории близко к окончательному завершению и необходимо основные научные исследования нацелить на разработку эффективных методов практического применения аппарата теории в различных инженерных приложениях. Трудные и нерешенные математические проблемы есть даже в линейной теории управления [7].

В рамках теории адаптивного управления в основном решены ключевые математические проблемы, возникающие в процессе анализа и проектирования адаптивных систем управления для базисных инженерных приложений теории. Однако из-за больших математических трудностей многие актуальные проблемы еще не решены окончательно. Поэтому имеют место и критические высказывания: «Таким образом, часто в ущерб реальности, но в угоду теории, сформировался банк упрощенных моделей, с которыми и по сей день, в основном, имеют дело в управлении, и что по сути дела является одним из препятствий, о котором «спотыкается» теория управления на практике» [8, с. 13]. Известны также и другие критические мнения [9, 10].

Тем не менее, представляется несомненным, что математический аппарат теории адаптивного управления в основном ориентирован на практическое применение в инженерных приложениях и служит важным элементом математического обеспечения современных САПР систем автоматического управления. Исследования в области идентификации систем оказали существенное влияние на развитие и современное состояние теории адаптивного управления. Один из основных ее разделов — теория адаптивных систем управления с идентификатором, в построении которой ключевую роль сыграли исследования в области идентификации систем. Обзор основных направлений этой теории приведен в докладе А.Л. Бунича «Идентификационный подход к построению систем уп-



правления дискретными объектами с ограниченной неопределенностью», представленный на секции «Структурная и параметрическая идентификации».

Слабо изученным объектом управления назовем реальный объект, любое достоверное математическое описание которого содержит хотя бы один структурный параметр, приемлемое значение которого коллектив разработчиков намерен определить на предпроектных стадиях на основе экспериментальных данных. Особенность слабо изученного объекта управления состоит в том, что для него на предпроектных стадиях создания САУ необходим существенный и качественный рост модельного знания. Иными словами, на предпроектных стадиях необходимо перейти с уровня знания слабо изученного объекта на уровень знания коллективом разработчиков приемлемого, с его точки зрения, приближения к инженерной модели объекта управления. Данный переход можно совершить с помощью инженерного моделирования объекта управления, инженерного конструирования и инженерной верификации математической схемы САУ, которые должны быть организованы как итерационные процессы, субъектом которых является коллектив разработчиков САУ.

В настоящей работе выражение «инженерное моделирование объекта управления» понимается в узком, сугубо практическом и управленческом смысле. Инженерным моделированием объекта управления (кратко, инженерным моделированием) называется реальный процесс обработки данных и знаний об объекте управления, который:

- организует и реализует коллектив разработчиков САУ, состоящий в основном из специалистов инженерных профессий;

- реализуется на предпроектных и проектных стадиях создания САУ, удовлетворяющей в условиях опытной эксплуатации требованиям технического задания на ее создание;

- организуется коллективом разработчиков САУ как средство поиска адекватной модели объекта управления, т. е. математической модели, на основе которой данный коллектив разработчиков может сконструировать САУ, удовлетворяющую в условиях нормальной эксплуатации требованиям технического задания на ее создание;

- заканчивается построением инженерной модели объекта управления, т. е. математической модели, которую коллектив разработчиков САУ включает в состав исходных данных, необходимых для построения математической схемы проектируемой САУ, вводимой в промышленную эксплуатацию.

Проблемам инженерного моделирования слабо изученного объекта управления посвящен доклад *К.С. Гинсберга* «Концепция научного проектирования инженерного моделирования для слабо изученных объектов управления: новый подход к пробле-

мам структурной идентификации», представленный на секции «Структурная и параметрическая идентификации». Инженерное моделирование слабо изученного объекта управления можно реализовать с помощью четырех процессов: планирования и сбора данных и знаний; структурной идентификации; параметрической (или непараметрической) идентификации; верификации. Наличие в составе моделирования структурной, параметрической (или непараметрической) идентификации означает, что классические направления идентификации систем будут играть ключевую роль в научных исследованиях проблем инженерного моделирования слабо изученного объекта управления.

Представляется также, что в будущем научный предмет идентификации систем может значительно выйти за границы традиционных целей, проблем и задач. Данная гипотеза основана на возможности интерпретации инженерного моделирования как системной идентификации объекта управления для целей проектирования. Наличие данной возможности непосредственно следует из общих определений идентификации объекта управления Л. Льюнга, Н.С. Райбмана, Дж. Саридиса, Я.З. Цыпкина и П. Эйкхоффа [11, с. 142–143]. Поэтому, возможно, историческая миссия идентификации систем состоит не только в том, чтобы научно исследовать традиционные проблемы идентификации и проектировать опытные образцы адаптивных систем управления с идентификатором. В частности, возможно, что ее назначение состоит также в системном исследовании проблем экспериментального построения математической модели объекта управления в целях проектирования новых САУ.

2. ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

В докладе *Н.Н. Бахтадзе* и *В.А. Лотоцкого* «Метод идентификации с обучением, основанном на ассоциативном поиске» изложен подход, основанный на имитации ассоциативного мышления оператора, и представлены алгоритмы идентификации, использующие ассоциативный поиск для порождения знаний об объекте управления. Предложены алгоритмы ассоциативного поиска, позволяющие с высокой точностью моделировать динамические нестационарные объекты. Показано, что процедуры ассоциативного поиска, основанные на использовании вейвлет-анализа, открывают новые эффективные подходы к идентификации нестационарных систем.

Один из основных методов синтеза нелинейных систем управления заключается в преобразовании исходного нелинейного дифференциального уравнения, моделирующего динамику объекта, в уравнение линейной структуры, но с параметрами,

зависящими от состояния. Использование квадратичного функционала качества управления с матрицами штрафа, которые также зависят от состояния объекта, позволяет при синтезе управления перейти от уравнения Гамильтона — Якоби — Белмана к уравнению типа Риккати с параметрами, зависящими от состояния. Это и составляет основу SDRE-метода синтеза оптимальных нелинейных систем управления. Основная проблема реализации SDRE-метода заключается в необходимости отыскания решения матричных нелинейных уравнений типа Риккати с параметрами, зависящими от состояния, в темпе функционирования управляемого динамического объекта.

В докладе *В.Н. Афанасьева* «Оптимальное управление нелинейным объектом с параметрами, зависящими от состояния» это решение находится в символьном виде алгебраическим методом, что позволяет обобщить ряд ранее опубликованных теоретических результатов и получить конструктивные решения некоторых постановок задач управления. Полученные результаты могут быть непосредственно использованы для адекватно изученных объектов управления или служить фундаментальным математическим обеспечением процесса проектирования адаптивных систем управления с идентификатором.

В докладе *P. Rozewski, O. Zaikin, E. Kuszina* (Poland) «Model of the learning — teaching process in OSDL» («Модель обучения — преподавания в Открытой Системе Дистанционного Обучения») утверждается, что анализ научной литературы, проектов и имеющихся на рынке продуктов показывает, что дистанционное обучение является новым направлением в развитии информационных систем. В этой литературе, однако, отсутствует системное понимание дистанционного обучения как комплексной информационной системы. Доклад, по сути, представляет собой первую попытку такого системного понимания.

Авторы доклада проводят достаточно полный анализ информационных систем и методов дистанционного образования на основе теории иерархических многоуровневых систем, который позволяет разработать модель OSDL. Как результат такого системного анализа предложена схема управления для OSDL.

3. СТРУКТУРНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ

3.1. Основные темы научных исследований

По ключевым признакам — решаемой задаче, применяемым средствам и основному научному результату — доклады секции «Структурная и параметрическая идентификации» можно отнести к трем темам: общие математические основы иден-

тификации; математические основы параметрической идентификации; методологические и математические основы структурной идентификации.

3.2. Общие математические основы идентификации

В докладе *В.А. Русанова, Л.В. Антонова и А.В. Данеева* «К формально разрешимым реализациям нелинейных дифференциальных систем в банаховом пространстве» на языке сигнальных функций и оператора Релея — Ритца обсуждаются необходимые и достаточные условия разрешимости задачи дифференциальной реализации динамической системы (*D*-системы). Развита теоретико-системный подход, позволяющий увидеть задачи дифференциальной реализации *D*-систем в новом теоретико-модельном аспекте и отделить вопросы существования реализации от чисто вычислительных процедур. За пределами доклада остался прикладной аспект проблемы реализации бесконечномерных систем. Авторы рассматривают свой доклад как первый этап в изучении нелинейной дифференциальной реализации сложных динамических процессов.

В теории управления под инвариантностью понимается независимость какой-либо системы автоматического регулирования от приложенных к ней внешних возмущений. Первым, кто обратил внимание на это свойство, был, по-видимому, Г.В. Щипанов. Его идеи развиты Б.Н. Петровым, который сформулировал принцип инвариантности систем автоматического регулирования. В докладе *А.Г. Кушнера и В.В. Лычагина* «Инвариантность Петрова и идентификация гамильтоновых систем с управляющим параметром» возмущения системы интерпретируются как преобразования, изменяющие систему. Если такие преобразования образуют псевдогруппу Ли, то, как считают авторы, теорией преобразований Софуса Ли можно воспользоваться для изучения инвариантности в смысле Петрова, и изложенные в докладе результаты составляют первый этап реализации этой идеи. В докладе рассмотрена проблема классификации гамильтоновых систем с управляющим параметром относительно преобразований обратной связи. Слово «идентификация» в названии доклада употребляется для обозначения процесса классификации гамильтоновых систем с управляющим параметром, что не соответствует его традиционному смыслу в идентификации систем, где идентификацией называется построение математической модели реальной системы, основанное на обработке ее наблюдаемых входных и выходных сигналов. Тем не менее, несомненно, что данная работа относится к общим математическим основам идентификации, так как наличие детальной классификации математических моделей объектов управления является необходимым условием реализации любой идентификации.



В докладе *А.Н. Агаджанова* «Идентификация фрактальных управлений Бутковского — Бэра в задачах управления колебательными распределенными системами» приведен обзор, посвященный фрактальным функциям, т. е. непрерывным функциям, не обладающим классической производной ни в одной точке из области определения. Доклад содержит шесть теорем об общих свойствах фрактальных функций, доказательства которых не приводятся; одна из них доказана автором. Представлены также результаты автора, связанные с аппроксимативной дифференцируемостью функций, в частности, теорема, которая впервые в научной литературе фиксирует факт существования финитных аппроксимативно сингулярных функций. Автор выделяет во множестве фрактальных функций класс функций, который он назвал фрактальным классом Бутковского — Бэра. Это название предложено автором в знак уважения к научным достижениям А.Г. Бутковского и Р. Бэра. Строгое определение указанного класса задано определением: «Будем говорить, что функция f принадлежит фрактальному классу Бутковского — Бэра на отрезке $[-a, a]$, если она непрерывна, ни в одной точке данного отрезка не дифференцируема, финитна и аппроксимативно сингулярна на $[-a, a]$ ». Автор не только доказывает теорему о существовании функций в классе Бутковского — Бэра, но и приводит пример формульно заданной функции, которая принадлежит этому классу, а также указывает некоторые общие свойства функций из данного класса: «они не имеют ни одного интервала монотонности (поскольку не имеют ни в одной точке классической производной), но их аппроксимативная производная почти всюду равна 0».

В смысле указанных результатов, доклад относится к очень редкому в области идентификации систем типу исследований, в которых развивается аппарат математики. Слово «идентификация» в названии доклада употребляется для обозначения процесса построения последовательности управляющих функций, дающих в поточечном пределе искомую управляющую функцию из класса Бутковского — Бэра, что не соответствует традиционному смыслу этого слова в идентификации систем. Тем не менее, несомненно, что данная работа относится к общим математическим основам идентификации, так как в докладе, по сути дела, предлагается новый класс общих математических моделей объектов управления, что, несомненно, расширит моделирующие возможности идентификации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие методологии и математических средств идентификации в условиях интенсивного роста и совершенствования информационных тех-

нологий переживает новый подъем и возрождение. В настоящее время это развитие представляется еще более актуальным и практически значимым, чем 1950-е гг., когда основными мотивами создания методов и средств идентификации были настоящие проблемы инженерной практики. Идентификация систем как научная дисциплина, в рамках которой порождается и концентрируется рациональное знание о механизмах идентификации, может, в силу своей уникальной проблематики, рассматриваться в качестве одного из базисных направлений современной науки управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труды IX международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'12. — М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. — 1168 с.
2. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. — М.: Мир, 1971. — 400 с.
3. Aseiline J.A., Mancini A.R., Sartune C.W. A survey of adaptive control systems // IRE Trans. on Automatic Control. — 1958. — Vol. AC-6, N 12. — P. 102—108.
4. Эшер Р.Б., Андрисани Д., Дорато П.П. Литература по теории адаптивных систем // Тр. Ин-та инженеров по электронике и радиотехнике. — 1976. — Т. 64, № 8. — С. 126—142.
5. Красовский А.А., Буков В.Н., Шендрик В.Н. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. — М.: Наука, 1977. — 272 с.
6. Дерезицкий Д.П., Фрадков А.Л. Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления. — М.: Наука, 1981. — 216 с.
7. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Возможные подходы к решению трудных задач линейной теории управления // Тр. III международной конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'04 / ИПУ РАН. — М., 2004. — С. 23—63.
8. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. — М.: Физматлит, 1997. — 352 с.
9. Красовский А.А. Исторический очерк развития и состояния теории управления // А.А. Красовский Избранные труды: Самые ранние — самые новые. — М.: Наука, 2003. — С. 474—507.
10. Перельман И.И. Анализ современных методов адаптивного управления с позиций приложения к автоматизации технологических процессов // Автоматика и телемеханика. — 1991. — № 7. — С. 3—32.
11. Гинсберг К.С. Истоки и перспективы исследований по структурной идентификации производственных процессов // Матер. конф. «Управление в технических системах» (УТС—2010). — СПб.: «ОАО «Концерн «Электроприбор». — 2010. — С. 142—145.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Л.П. Боровских.

Гинсберг Константин Симонович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-87-59, ✉ ginsberg@mail.ru.