

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ НА ПУТИ СОЗДАНИЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ И ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОСНОВ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

По материалам VIII международной конференции SICPRO'09

ВВЕДЕНИЕ

В Москве, в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 26—30 января 2009 г. состоялась VIII международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'09. В ее организации участвовали Институт проблем управления, Российский национальный комитет по автоматическому управлению, Российский фонд фундаментальных исследований (проект РФФИ 09-01-060005), Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления Российской академии наук.

Цели конференции:

— подвести итоги достижений в области разработки методологических и математических основ структурной, параметрической и непараметрической идентификаций;

— обсудить результаты и проблемы применения математических методов для решения актуальных практических проблем;

— выделить наиболее перспективные направления исследований и наметить пути их дальнейшего развития;

— скоординировать и объединить усилия специалистов, заинтересованных в обсуждении и исследовании проблем идентификации, и способствовать установлению личных контактов между ними.

Ее основные темы:

— развитие теории и методологии идентификации, моделирования и управления;

— математические задачи теории управления;

— параметрическая идентификация;

- непараметрическая идентификация;
- структурная идентификация и экспертный анализ;
- задачи выбора и анализ данных;
- системы управления с идентификатором;
- задачи идентификации в интеллектуальных системах;
- прикладные задачи идентификации систем;
- имитационное моделирование;
- методическое и программное обеспечение идентификации и моделирования;
- когнитивные аспекты идентификации;
- глобальные сетевые ресурсы поддержки процессов идентификации, управления и моделирования.

В программу конференции были включены три пленарных и 112 секционных докладов. Полные тексты 115 докладов (27 из них представлены исследователями, работающими в 11-ти зарубежных странах) опубликованы на компакт-диске, который официально зарегистрирован (с присвоением индекса ISBN) как сборник трудов конференции объемом 1879 с. и тиражом 500 экз. [1]. Отдельно изданы избранные труды SICPRO'09 [2] объемом 64 с., тиражом 250 экз. и программа конференции.

На конференции работали секции:

- Структурная идентификация;
- Параметрическая идентификация;
- Стохастические системы и непараметрическая идентификация;
- Промышленные приложения;
- Сложные системы;
- Адаптивные и робастные системы;
- Дискретные системы;

- Оптимизация и организационные системы;
- Интеллектуальные системы и информационные технологии;
- Аэрокосмические приложения.

В настоящем сообщении рассмотрены только некоторые научные аспекты SICPRO'09, его содержание практически полностью соответствует тексту определенных разделов обзора трудов и событий SICPRO'09, написанного для РФФИ. Автор выражает искреннюю признательность д-ру физ.-мат. наук А.В. Добровидову за полезные замечания и советы при подготовке указанного обзора.

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ЗНАНИЕ

Проблемы идентификации являются центральной темой примерно у половины докладов. В остальных работах исследование направлено на другие проблемы управления. Однако, и в этих докладах для полного раскрытия темы, как правило, изучаются отдельные аспекты идентификации. Тем не менее, есть доклады, в которых проблемы идентификации не обсуждаются и которые поэтому кажутся не имеющими к ним никакого отношения. В основном это работы, в которых рассматриваются фундаментальные математические проблемы теории автоматического управления. Представляется, что подобное понимание, правильно фиксируя различие в темах, не учитывает или не рассматривает как значимые некоторые центральные аспекты применения идентификации.

Известно, что основное назначение идентификации состоит в порождении нового эмпирического знания о реальном объекте в форме математической модели. Особенность идентификации как части процесса создания автоматической системы состоит в том, что она в этом процессе, образно говоря, выполняет функции посредника между объективной реальностью и фундаментальным математическим знанием теории автоматического управления. Идентификация как познавательная деятельность создает условия, необходимые исходные данные для практического применения математических методов синтеза систем автоматического управления и получения с помощью этих методов приемлемого математического описания проектируемой системы автоматического управления.

Наличие указанной посреднической функции отмечено еще в 2003 г.: «В чем сложность практического применения математического аппарата теории управления? Общеизвестно — в абстрактности и отсутствии наглядности основных математических понятий теории. Математические понятия

настолько сильно отличаются от естественных для человека базисных понятий, что возникает необходимость в особой человеческой деятельности — идентификации, создающей возможность перехода от явлений реального мира в виртуальный мир математической теории, и обратно из виртуального мира в объективную реальность. В процессе идентификации создаются все описания реальности, необходимые для практического применения таких элементов математического аппарата, которые позволяют отыскать решение конкретной практической задачи» [3, с. 4].

Фундаментальное математическое знание в виде математических задач управления и методов их решения является главным средством разработки приемлемого математического описания проектируемой системы автоматического управления. Идентификация в процессе этой разработки выполняет, безусловно, очень важные и крайне необходимые функции, которые, по-видимому, следует все же рассматривать как вспомогательные.

2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ЗНАНИЕ

Специалисты по проблемам идентификации должны не только владеть фундаментальным математическим знанием, но и быть знакомыми с новыми исследованиями в этой области. Поэтому наличие на конференциях SICPRO докладов по математическим задачам управления представляется не только желательным, но и необходимым. Особенно это важно для специалистов, которые придерживаются точки зрения, что лучшим измерителем качества идентификации служит система управления, спроектированная на основе математической модели, полученной в результате этой идентификации.

По-видимому, первым данную точку зрения высказал П. Эйкхофф: «Если основная цель состоит в проектировании системы управления, то представляется логичным оценивать точность идентификации по результатам функционирования созданной на основе идентификации объекта системы управления» [4, с. 37].

Математические исследования, инициированные благодаря такой точке зрения, требуют глубокого теоретического понимания процессов управления и применения математических методов, разработанных специально для решения математических задач управления. Все это знание в доступной для восприятия форме можно получить в процессе изложения и обсуждения докладов на конференциях SICPRO.



Отсутствие в явной форме постановок проблем идентификации не означает, что в неявном виде эти проблемы не присутствуют в содержании доклада и не анализируются в процессе его обсуждения. Вопрос состоит в том, как присутствующие на секции воспринимают содержание доклада? Например, на секциях «Структурная идентификация», «Параметрическая идентификация» постоянно в разных формах задается, по сути дела, один и тот же вопрос. С помощью каких средств и на основе каких данных можно получить значения буквенных констант, которые докладчик считает заданными или известными в формулировке математической задачи? Подобный вопрос в различных формах задается и на других секциях. В этом вопросе, по сути дела, изложена почти вся идея идентификационного подхода к анализу математического знания.

В рамках математики логический анализ предложений математической задачи обычно осуществляется для того, чтобы определить, удовлетворяет или нет формулировка задачи требованиям современного математического уровня строгости. Совершенно иные цели идентификационного анализа текста математической задачи и процесса ее решения. В полном объеме этот анализ содержит *три этапа*.

На первом этапе выделяются выражения метаязыка, с помощью которого постановщик задачи содержательно комментирует выражения объектного (математического) языка задачи, логического вывода и решения.

На втором этапе выделяются все буквенные константы объектного языка задачи, которые (а) в метаязыке характеризуются как заданные или известные или (б) постановщиком задачи подразумеваются заданными или известными, так как он использует эти константы в формальной записи решения на объектном языке. Буквенные константы, выделенные на этом этапе, называются заданными параметрами математической задачи.

Наконец, *на третьем этапе* анализируются традиционные возможности субъекта реальной идентификации самостоятельно отыскать приемлемые значения заданных параметров задачи. В частности, выделяются потенциально возможные реальные ситуации, в которых субъекту необходимо оказать методологическую, алгоритмическую и программную поддержку. На этом этапе также анализируются имеющиеся в науке предпосылки для создания новых математических методов предварительного выбора значений заданных параметров на основе измерений.

Представляется, что большинство исследуемых в настоящее время проблем идентификации были

осознаны на теоретическом уровне с помощью интуитивно проведенного идентификационного анализа классических задач управления. В рамках идентификационного подхода каждый доклад по математическим задачам управления интерпретируется как постановка в неявной форме новых идентификационных проблем.

Идентификационный подход в отличие от логического подхода к анализу математического знания нацелен на выяснение и реализацию потенциальных возможностей практического использования фундаментального математического знания. Подобное взаимодействие между идентификацией систем и математикой, несомненно, способствует увеличению приложений математики и ее более активной роли в решении актуальных проблем практики.

3. ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

3.1. Синтез законов управления при ограничениях на управление и фазовые переменные

Одна из актуальных проблем теории управления всегда заключалась в учете возможных ограничений на фазовые переменные объекта и на управление. Для объектов третьего порядка и выше решение подобных задач представляет значительные трудности.

В пленарном докладе *Д.В. Баландина и М.М. Когана* [5] предложен новый подход к синтезу линейных законов управления, обеспечивающих выполнение заданных фазовых ограничений на переменные состояния и управление. В рамках этого подхода также осуществляется синтез законов управления вида линейной обратной связи по состоянию или по измеряемому выходу, обеспечивающих асимптотическую устойчивость системы автоматического управления. При этом модуль управляемого выхода объекта управления не превышает заданного значения и удовлетворяются фазовые ограничения, если таковые имеются.

Стабилизирующие регуляторы синтезируются на основе известной математической модели объекта управления в виде системы линейных стационарных обыкновенных дифференциальных уравнений состояния. Рассматриваются случаи полного и неполного измерения состояния, а также отдельно робастный случай, когда система уравнений состояния содержит неизвестную матричную функцию времени, удовлетворяющую для всех неотрицательных моментов времени заданному матричному неравенству.

Поставленная в докладе задача включает в себя, в частности, задачу стабилизации при фазовых

ограничениях, когда отсутствует управляемый выход; задачу ограничения максимального отклонения управляемого выхода, когда отсутствуют фазовые ограничения; задачу стабилизации и ограничения максимального отклонения управляемого выхода при ограниченном управлении, а также различные комбинации этих задач.

Подход основан на применении аппарата линейных матричных неравенств. Он позволяет при синтезе охватить всевозможные квадратичные функции Ляпунова и указать множество начальных значений траекторий, удовлетворяющих указанным требованиям.

В качестве иллюстративных примеров рассмотрены задачи стабилизации перевернутого маятника и синтеза линейного противоударного изолятора. Показано, что синтез линейного противоударного изолятора с помощью предложенного в докладе метода линейных матричных неравенств дает хорошее приближение к точному решению.

3.2. Анализ решений динамических и непрерывных периодических систем

В пленарном докладе *А.П. Афанасьева и С.М. Дзюбы* [6] исследованы проблемы существования и построения обобщенно-периодических решений динамических и непрерывных периодических систем.

Рассматривается следующая математическая задача. Пусть имеется нормальная система из n обыкновенных дифференциальных уравнений состояния, правой частью которой является векторная функция состояния и действительного переменного, интерпретируемого как время. Известно, что эта векторная функция определена и непрерывна со всеми своими частными производными по переменным состояния на прямом произведении числовой прямой и некоторого открытого подмножества n -мерного евклидова пространства. Кроме того, считается, что векторная функция является периодической функцией времени с периодом, равным единице.

Вопрос о существовании у такой системы периодических или близких к ним решений весьма важен как для собственно теории дифференциальных уравнений, так и для ее приложений. Именно этот вопрос, в первую очередь, интересует авторов доклада. Второй вопрос — это проблема разработки метода и алгоритма отыскания этих решений в распределенной вычислительной среде с помощью символьных вычислений.

В исследовании поставленных проблем авторы опираются на три теоремы Х.Л. Массера [7–9]. Утверждение первой из них относится к случаю, когда порядок нормальной системы равен едини-

це: если нормальная система имеет ограниченное решение, то она также имеет и периодическое решение с периодом, равным единице. Вторая теорема Массера не так очевидна. Пусть порядок нормальной системы равен двум и каждое решение этой системы определено для всех моментов времени, не меньших заданного. Тогда, если система имеет некоторое решение, ограниченное при этих моментах времени, то данная система имеет также и периодическое решение с периодом, равным единице. Третья теорема Массера представляет собой обобщение первых двух теорем на случай линейных систем произвольного порядка.

Справедливы ли теоремы Массера в произвольном нелинейном случае и, если нет, какие именно решения будут определять ситуацию типического поведения? Поиск ответа на этот вопрос длился пятнадцать лет. Цель настоящего доклада состояла в кратком изложении полученных за эти годы результатов.

Авторы проанализировали придуманное ими многомерное обобщение второй теоремы Массера и с помощью контрпримеров показали, что оно неверно. Это привело к определению понятия обобщенно-периодического решения, характеризующего ситуацию типического поведения решений нормальной системы. Центральный результат состоит в формулировке теоремы существования этого решения. Доказательство теоремы можно найти в книге [10].

В докладе рассмотрен частный вариант нормальной системы, когда ее правая часть не зависит от переменной времени. Для этого случая конкретизировано определение обобщенно-периодического решения и дана новая формулировка теоремы его существования.

Приведены наиболее важные виды периодических и близких к ним решений нормальной системы и ее изученного частного варианта. В предложенной классификации представлены девять видов решений.

Дан пример построения обобщенно-периодических решений в распределенной компьютерной среде с использованием символьных вычислений.

4. СТРУКТУРНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ

4.1. Основные темы научных исследований

Анализ докладов, представленных на основных теоретических секциях, показал, что по ключевым признакам — решаемой задаче, используемым средствам и основному научному результату — доклады можно отнести к трем темам:



- методологические основы идентификации;
- математические основы структурной идентификации;
- математические основы параметрической идентификации.

Авторами докладов в основном являются сотрудники РАН и вузов, причем региональные научные организации представлены в составе секций не меньше, а иногда и значительно больше, чем московские научные центры. Наблюдается тенденция увеличения числа научных исследований, выполняемых совместно сотрудниками РАН и вузов.

4.2. Научные основы структурной идентификации и практика

Содержание докладов секций «Структурная идентификация» и «Параметрическая идентификация» существенно расширяет наше понимание основных причин трудностей теоретических исследований по структурной идентификации. Впервые в докладах и обсуждениях удалось выделить и обосновать как центральные две проблемы методологических основ структурной идентификации:

- разработка статистических задач построения оптимального алгоритма предварительного выбора размерностей векторных параметров математического описания объекта автоматизации;
- разработка методов организации идентификации на уровне оперирования математическими средствами.

Можно высказать следующие прогнозы. Представляется, что разработка наукоемких технологий структурной идентификации для ускорения процессов создания систем автоматического управления, а также распространение философии, методологии и математического аппарата научных основ идентификации на разработку систем другого типа существенно зависят от уровня изученности данных методологических проблем.

Известно, что основная трудность создания наукоемких технологий вызвана наличием значительного творческого компонента в процессах первоначального накопления модельных знаний об объекте автоматизации. Представляется, что «прояснение» указанных методологических проблем значительно облегчит формализацию содержательных представлений о структурной идентификации на основе языка и аппарата математики. Влияние субъекта идентификации на процесс идентификации, по-видимому, не уменьшится после проведенной формализации и частичной автоматизации. Однако это влияние можно будет локализовать с помощью ясно и четко поставленных вопросов, сформулированных на профессиональ-

ном языке субъекта. Причем основную часть структурной идентификации можно будет выполнить в рамках специального интерактивного программного комплекса.

В результате существенно расширится состав традиционных САПР благодаря добавлению специального интерактивного программного компонента. Он позволит непосредственно в рамках САПР оперативно реализовать структурную идентификацию объекта автоматизации, т. е. получить практически приемлемое приближение к неизвестному типу адекватной математической модели объекта. Появится также возможность создавать компьютерные тренажеры для обучения умениям и навыкам организации структурной идентификации при создании реальных систем автоматического управления. Здесь термин «тип модели» означает параметрическое семейство содержательно интерпретированных уравнений, которое содержит модель.

И еще один прогноз. Известно, что группа разработчиков новой системы автоматического управления способна преодолеть практически любую начальную модельную неопределенность, если она считает, что это необходимо для реализации поставленного технического задания. Представляется, что и наука способна в научном знании выразить существенные характеристики и механизмы познавательной человеческой деятельности (по преодолению модельных неопределенностей) в объеме, достаточном для эффективного использования фундаментального математического знания теории автоматического управления в процессах решения практических задач управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании обсуждения докладов и выступлений участников конференции было принято решение, в котором, в частности, говорится следующее.

Идентификация в настоящее время — обязательный элемент и наиболее трудный этап решения актуальных практических задач. Именно в процессе реальной идентификации создаются все описания реальности, необходимые в качестве исходных данных для эффективного практического применения математических методов и сложных наукоемких технологий. Поэтому разработка математических средств и методов организации идентификации имеет в настоящее время большое прикладное значение.

Развитие математических методов и методологии поиска адекватной математической модели сейчас так же актуально и практически значимо,

как и в 1950-е гг., когда они зарождались под влиянием насущных проблем практики. Постоянная необходимость в оптимизации процесса решения практических задач благодаря рациональной идентификации стимулирует развитие математического аппарата и методологии идентификации систем. Поэтому по-прежнему актуальны для фундаментальной науки такие темы, как математические основы параметрической и непараметрической идентификаций, математическое моделирование, математические проблемы адаптивного управления, методы организации идентификации при известном типе адекватной математической модели объекта автоматизации.

Развитие идентификации систем, основанное на признании решающей роли человеческого фактора в процессе структурной идентификации, имеет исключительно важное значение для решения трудных практических проблем. Поэтому в рамках фундаментальной науки актуальны такие темы, как системы научных знаний об идентификации, концептуальные основы идентификации, математические основы структурной идентификации, методы организации структурной идентификации, методы идентификации организационных и социально-экономических систем.

Идентификация систем как научная дисциплина, в которой порождается и концентрируется рациональное знание о механизмах идентификации, прежде всего, технологических процессов, может в силу своей уникальной проблематики рассматриваться в качестве базисного направления современной науки.

В настоящее время развитие идентификации систем существенно сдерживается наличием ряда трудных проблем. В первую очередь, они обусловлены разрушением ее кадрового обеспечения в связи с недостаточным финансированием фундаментальных исследований, которое не стимулирует приток молодых специалистов в российскую науку. Аналогичные трудности возникли, на наш взгляд, во многих научных направлениях Российской академии наук. Эти проблемы не могут быть разрешены разрозненными усилиями отдельных ученых; необходимы скоординированные коллективные действия всего научного сообщества по

оптимизации своей структуры и деятельности. Историческая роль действующего сейчас поколения пятидесяти — шестидесятилетних ученых (элиты научных направлений), по-видимому, состоит в том, чтобы подготовить и осуществить адаптацию Российской академии наук к условиям существующей и будущей рыночной среды и при этом сохранить традиционные российские научные центры фундаментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труды VIII международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'09. Москва, 26 — 30 января 2009 г. / ИПУ РАН. — М., 2009. — ISBN 978-5-91450-024-2.
2. Избранные труды VIII международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'09. Москва, 26 — 30 января 2009 г. / ИПУ РАН. — М., 2009. — ISBN 978-5-91450-025-9.
3. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным методологиям / И.В. Прангишвили, В.А. Лотоцкий, К.С. Гинсберг, В.В. Смолянинов // Проблемы управления. — 2004. — № 4. — С. 2—15.
4. Эйхофф П. Основы идентификации систем управления. — М.: Мир, 1975.
5. Баландин Д.В., Коган М.М. Линейные матричные неравенства в синтезе регуляторов при ограничениях на управление и фазовые переменные // Тр. междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'09. Москва, 26—30 января 2009 г. / ИПУ РАН. — М., 2009. — С. 31—44.
6. Афанасьев А.П., Дзюба С.М. О периодических и близких к ним решениях дифференциальных уравнений // Там же. — С. 45—56.
7. Красносельский М.А. Оператор сдвига по траекториям дифференциальных уравнений. — М.: Наука, 1966.
8. Massera J.L. The existence of periodic solutions of systems of differential equations // Duke Math. J. 1950. — Vol. 17. — P. 457—475.
9. Рейсинг Р., Сансоне Г., Конти Р. Качественная теория нелинейных дифференциальных уравнений. — М.: Мир, 1974.
10. Афанасьев А.П., Дзюба С.М. Устойчивость по Пуассону в динамических и непрерывных периодических системах. — М.: Изд-во ЛКИ, 2007.

К.С. Гинсберг

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

Микрин Е.А., Шелков А.Б., Павельев В.В. Методы восстановления данных в распределенных автоматизированных системах. — М.: ИПУ РАН, 2009. — 68 с.

Предложены основные стратегии и схемы восстановительного резервирования информационного и программного обеспечения территориально-распределенных автоматизированных систем. Разработаны методы и модели расчета вероятностных, временных и стоимостных характеристик для основных схем восстановительного резервирования информационных ресурсов в распределенных системах обработки данных, построенных с использованием инфраструктуры глобальной сети Интернет.

Новая книга