

DOI 10.23859/1994-0637-2017-6-81-2
УДК 007: 001.8: 681.5.015

© Генкин А.Л., Гинсберг К.С., 2017

Генкин Аркадий Львович

Доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН
(Москва, Россия)
E-mail: algenkin@yandex.ru

Genkin Arkadiy Lvovich

Doctor of Technical Sciences,
Senior Researcher, V.A. Trapeznikov Institute
of Control Sciences of Russian
Academy of Sciences
(Moscow, Russia)
E-mail: algenkin@yandex.ru

Гинсберг Константин Симонович

Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН
(Москва, Россия)
E-mail: ginsberg@mail.ru

Ginsberg Konstantin Simonovich

PhD in Technical Sciences,
Senior Researcher, V.A. Trapeznikov Institute
of Control Sciences
of Russian Academy of Sciences
(Moscow, Russia)
E-mail: ginsberg@mail.ru

**К ПРОБЛЕМЕ СТРУКТУРНОЙ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ЦЕЛИ
СОЗДАНИЯ РЕАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ С ТРЕБУЕМЫМИ
СВОЙСТВАМИ**

**TO THE PROBLEM OF STRUCTURE
IDENTIFICATION FOR THE
PURPOSE OF CREATION OF REAL
AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
WITH REQUIRED PROPERTIES**

Аннотация. Предложен статистический системно-функциональный подход к проблеме структурной идентификации. Исследуются различные аспекты структурной идентификации как системного объекта. Выясняется роль человеческого фактора. Конструируется общее определение идентификации для цели создания САУ. Изучаются свойства структурно-параметрической идентификации. Приводится определение понятия о рациональной структурной идентификации для цели создания САУ.

Abstract. A statistical system-functional approach to the problem of structure identification is suggested. Various aspects of structure identification as a system object are investigated. The role of the human factor is revealed. A general identification definition for the purpose of creating an automatic control system is constructed. The properties of structure-parametric identification are studied. The definition of the concept of rational structure identification for the purpose of creating an automatic control system is given.

Ключевые слова: технический объект, система автоматического управления, идентификация, структурная идентификация, определение понятий

Keywords: technical object, automatic control system, identification, structure identification, definition of concepts

Введение

В настоящее время отсутствует единое определение общего понятия о структурной идентификации технического объекта. Тем не менее, достаточно часто под структурной идентификацией понимается процесс выбора структуры параметрической модели, на основе которой осуществляется параметрическая идентификация технического объекта, или процесс выбора типа математической модели технического объекта. Указанное общее определение, традиционное в 70–80-х годах XX в.,

задавая определенное начальное представление о структурной идентификации, сыграло значительную роль в разработке математического аппарата научной дисциплины «Идентификация систем». Однако это определение, ввиду своей предельной общности и многозначности составляющих его слов, в настоящее время оказывается малоприменимым при разработке научно-прикладных постановок проблем рациональной организации структурной идентификации, нацеленных на решение важных практических задач.

Интуитивно ясно, что общее понятие о структурной идентификации технического объекта является чрезвычайно широким по объему, а термином «структурная идентификация технического объекта» можно обозначить большое число различных по своим свойствам и количественным характеристикам процессов. Поэтому научные исследования проблемы рациональной организации структурной идентификации, в которых не изучаются отдельные виды структурной идентификации и не учитывается инженерный контекст их реализации, способны создать научное обеспечение только для реализации самых общих функций структурной идентификации. При таком общем подходе вне рамок научных исследований оказываются многие значимые для инженерной практики проблемы реальных или потенциально возможных структурных идентификаций.

Тем не менее, за последние 50 лет именно общий подход выступал в качестве доминирующей установки в научных исследованиях в области структурной идентификации технических объектов. На основе общего подхода, с опорой только на результаты математических исследований, эвристические идеи и общие принципы сконструированы практически все современные алгоритмы структурной идентификации. В работе [1] приведена библиография научных работ в области структурной идентификации, содержащая ссылки на 49 книг, 40 обзоров и 89 статей. Анализ указанных работ, а также динамика роста публикаций в данной области позволяют предположить, что возможности общего подхода как методологической основы создания алгоритмов структурной идентификации практически полностью исчерпаны.

Для формирования необходимого прикладного научного знания требуется другой подход к проблеме рациональной организации структурной идентификации. Его ключевые установки:

- перейти от исследований структурной идентификации в целом к исследованию различных видов этой идентификации, возникающих в современных инженерных практиках;
- формировать содержание конкретного вида структурной идентификации на основе учета особенностей порождающих этот вид инженерных практик и применения в исследованиях научных конкретизаций общих положений системного, функционального и статистического подходов;
- основывать разработку математических средств автоматизации функций структурной идентификации, в первую очередь, на использовании языка и математического аппарата статистического подхода.

Назовем предлагаемый подход статистическим системно-функциональным подходом к исследованию проблемы рациональной организации структурной идентификации или просто статистическим системно-функциональным подходом, если такое употребление не вызывает никаких недоразумений. Основной целью настоящей работы является иллюстрация возможностей предлагаемого подхода на примере исследования проблемы рациональной организации структурной идентификации для цели создания реальной системы автоматического управления (САУ), удовлетворяющей требованиям заказчика.

Основная часть**Рациональная структурная идентификация**

Перечислим основные конкретизации предлагаемого подхода:

- 1) рациональная структурная идентификация является системным объектом в рамках инженерной практики создания САУ, удовлетворяющей требованиям заказчика (т.е. САУ с требуемыми свойствами);
- 2) субъектом рациональной структурной идентификации является коллектив разработчиков САУ, который осуществляет практическое познание технического объекта как объекта управления, нацелен на отыскание адекватной модельной структуры технического объекта и мотивирован на создание САУ с требуемыми свойствами;
- 3) рациональная структурная идентификация является обязательным компонентом инженерной практики создания САУ в условиях отсутствия достоверного априорного знания об адекватной модельной структуре технического объекта, т.е. в условиях априорной структурной неопределенности;
- 4) концептуальная модель возможного поведения субъекта рациональной структурной идентификации задается в виде системно-функциональной модели;
- 5) модели возможного поведения высокопрофессиональных коллективов разработчиков САУ в процессе структурной идентификации рассматриваются как описание эталона поведения для других коллективов разработчиков САУ;
- 6) методы выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур технического объекта целесообразно разработать на основе постановки и решения математических задач статистического синтеза.

Под модельной структурой понимается семейство математических моделей технического объекта для цели создания САУ с требуемыми свойствами, параметризованное скалярным или векторным параметром с заданным множеством допустимых значений в евклидовом пространстве. Адекватной модельной структурой называется модельная структура, на основе которой коллектив разработчиков в процессе параметрической идентификации (нацеленной на выполнение требований заказчика САУ) может определить адекватную модель технического объекта. Под адекватной моделью технического объекта понимается математическая модель, имеющая такой уровень функционального подобия моделируемому техническому объекту, при котором на ее основе можно создать реальную САУ, удовлетворяющую требованиям заказчика.

Чтобы получить общее определение рациональной структурной идентификации для цели создания САУ с требуемыми свойствами, необходимо изучить ее с точки зрения системного подхода, т.е. рассмотреть эту идентификацию как подсистему системы взаимосвязанных процессов инженерной практики создания САУ. Перечислим эти процессы. Во-первых, рациональная структурная идентификация всегда организуется как часть идентификации технического объекта. Во-вторых, рациональная структурная идентификация является подсистемой системы поиска адекватной математической модели технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности или, другими словами, эта идентификация является частью математического моделирования технического объекта для цели создания САУ в условиях априорной структурной неопределенности. В настоящей работе считается, что данный вид математического моделирования реализуется как итерационный процесс, отражающий требования гипотетико-дедуктивного метода познания. В наиболее полном составе итерация математического моделирования включает: итерацию идентификации технического объекта; итерацию синтеза регулятора создаваемой САУ; итерацию оценивания приемлемости синтезированного алгоритма

управления для создания САУ с требуемыми свойствами. Итерация идентификации в наиболее полном составе состоит из этапа рациональной структурной идентификации и организованного после его завершения этапа параметрической идентификации. В-третьих, рациональная структурная идентификация является частью определенного вида инженерной практики создания САУ.

Представляется, что все указанные аспекты должны быть отражены в определении понятия о рациональной структурной идентификации. Учитывая указанную многоаспектность, поступим следующим образом. Сначала дадим общее определение идентификации технического объекта для цели создания САУ с требуемыми свойствами. Это определение будем конструировать как определенную конкретизацию традиционных общих определений идентификации технического объекта. Затем, используя накопленное знание, дадим определение понятия о рациональной структурной идентификации технического объекта для цели создания САУ с требуемыми свойствами.

Согласно наиболее общим определениям, идентификация системы – это построение математической модели системы, основанное на обработке ее наблюдаемых входных и выходных сигналов. К наиболее общим определениям относятся, например, определения Н.С. Райбмана [2] и П. Эйкхоффа [5]:

- «в основе своей идентификация представляет собой экспериментальный метод построения модели по входным и выходным сигналам объекта. Естественным требованием идентификации, вытекающим из приведенной формулировки, является измеримость входных и выходных переменных» [2, с. 47];
- «В широком смысле идентификацией можно назвать определение модели объекта управления, основанное на обработке входных и выходных сигналов» [5, с. 21].

Согласно традиционным представлениям, построение математической модели системы может представлять собой автоматический процесс, а может быть автоматизированным процессом с различной формой участия человека вплоть до ситуации, когда человек является субъектом построения. В результате термином «идентификация системы» можно обозначить как автоматическое построение математической модели системы для цели организации управления этой системой, так и автоматизированное построение математической модели для цели создания САУ, удовлетворяющей требованиям заказчика.

Более полные общие определения выделяют в идентификации два качественно различных процесса: выбор структуры и оценку параметров математической модели. К таким общим определениям относятся, например, определения Дж. Саридиса [3] и Я.З. Цыпкина [4]:

- идентификация «заключается в создании модели процесса по его наблюдаемым входным и выходным сигналам в детерминистской или стохастической обстановке. Такой процесс идентификации включает в себя две независимые процедуры, а именно, структурную идентификацию и идентификацию параметров» [3, с. 155];
- «Идентификация динамических объектов в общем случае состоит в определении их структуры и параметров по наблюдаемым данным – входному воздействию и выходной величине» [4, с. 15].

Исходя из вышеизложенных представлений, можно дать следующее определение. Идентификацией технического объекта для цели создания САУ с требуемыми свойствами называется итерационный процесс, на каждой итерации которого осуществляется построение математической модели технического объекта для цели создания САУ с требуемыми свойствами, основанное на обработке экспериментальных наблюдений входных и выходных сигналов технического объекта. Идеальной целью

итерационного процесса является построение адекватной математической модели технического объекта.

Приведенное определение в силу принципа его построения является общим определением. Это означает, что оно может быть использовано в качестве определения структурно-параметрической идентификации. Организация этого вида идентификации в соответствии с требованиями приведенного общего определения представляет собой трудную интеллектуальную проблему. Суть ее в следующем: как следует организовать построение математической модели технического объекта на каждой текущей итерации структурно-параметрической идентификации, чтобы конечным результатом итерационного процесса оказалась адекватная математическая модель технического объекта или приемлемое к ней приближение? Трудность решения этой проблемы связана с тем, что в рамках текущей итерации у коллектива разработчиков отсутствует возможность определения степени приближения построенной на этой итерации математической модели к адекватной математической модели технического объекта, что вызвано наличием априорной структурной неопределенности. Для того чтобы получить знание о степени приближения, коллективу разработчиков необходимо организовать в системном контексте структурно-параметрической идентификации две подсистемы, в которых реализуются итерации:

- синтеза регулятора САУ на основе построенной математической модели технического объекта;
- оценивания приемлемости синтезированного алгоритма управления для создания САУ с требуемыми свойствами.

Исходя из приведенного анализа, предлагается следующее определение. Под рациональной структурной идентификацией технического объекта для цели создания реальной САУ с требуемыми свойствами понимается итерационный процесс, каждая итерация которого состоит из четырех стадий:

- 1) содержательная постановка проблемы построения адекватной модельной структуры технического объекта;
- 2) формирование наиболее предпочтительной гипотезы об адекватной модельной структуре;
- 3) оценивание степени теоретической и практической обоснованности наиболее предпочтительной гипотезы об адекватной модельной структуре;
- 4) принятие решения о переходе к следующей итерации рациональной структурной идентификации или решения о начале параметрической идентификации технического объекта.

Формирование наиболее предпочтительной гипотезы об адекватной модельной структуре состоит из четырех этапов:

- 1) экспертный анализ причин отклонения гипотез об адекватной модельной структуре, исследованных в рамках системного контекста рациональной структурной идентификации до начала текущей итерации; целью экспертного анализа является разработка рекомендаций по выбору нового набора рабочих гипотез;
- 2) формирование набора рабочих гипотез об адекватной модельной структуре; каждая рабочая гипотеза представляет собой предположение, что определенная модельная структура является адекватной модельной структурой; модельная структура в составе рабочей гипотезы выбирается субъектом структурной идентификации как возможный кандидат на роль адекватной модельной структуры;
- 3) определение метода выбора наиболее предпочтительной гипотезы из заданного набора рабочих гипотез;
- 4) определение наиболее предпочтительной гипотезы в заданном наборе рабочих гипотез на основе знаний и экспериментальных данных о техническом объекте.

Подводя итоги, выделим ключевую гипотезу. Рациональная структурная идентификация не может быть осуществлена (т.е. ее конечная цель не может быть достигнута) без реализации параметрической идентификации, синтеза пробных алгоритмов управления, разработки пробных САУ и их пробной опытной эксплуатации.

Выводы

Представляется, что в современных условиях, когда весьма желательна ускоренная модернизация производства, быстрый ввод в эксплуатацию новых технологических процессов, значительное повышение требований к эффективности систем управления, в науке и инженерной практике следует разрабатывать только процедуры построения реальных САУ, включающие методы и средства рациональной структурной идентификации технических объектов.

Литература

1. Гинсберг К.С. Концепция научного проектирования инженерного моделирования для слабо изученных объектов управления: новый подход к проблемам структурной идентификации // Труды IX Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '12. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2012. 1 CD-ROM. С. 802–828.
2. Основы управления технологическими процессами. М.: Наука, 1978. 440 с.
3. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления. М.: Наука, 1980. 400 с.
4. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. М.: Наука, 1984. 320 с.
5. Эйххофф П. Оценка параметров и структурная идентификация // Автоматика. 1987. № 6. С. 21–38.

References

1. Ginsberg K.S. Kontseptsiiia nauchnogo proektirovaniia inzhenernogo modelirovaniia dlia slabo izuchennykh ob"ektov upravleniia: novyi podkhod k problemam strukturnoi identifikatsii [A conception of scientific design of engineering modeling for mildly studied control plants: a new approach to structure identification problems]. *Trudy IX Mezhdunarodnoi konferentsii «Identifikatsiia sistem i zadachi upravleniia» SICPRO '12* [IXth Conference (International) "System Identification and Control Problems" SICPRO '12 Proceedings]. Moscow, 2012, 1 CD-ROM, pp. 802–828.
2. *Osnovy upravleniia tekhnologicheskimi protsessami* [Fundamentals of technological processes control]. Moscow: Nauka, 1978. 440 p.
3. Saridis G.N. *Samoorganizuiushchiesia stokhasticheskie sistemy upravleniia* [Self-organizing control of stochastic systems]. Moscow: Nauka, 1980. 400 p.
4. Tsyppkin Ya.Z. *Osnovy informatsionnoi teorii identifikatsii* [Fundamentals of information theory of identification]. Moscow: Nauka, 1984. 320 p.
5. Eykhoff P. *Otsenka parametrov i strukturnaia identifikatsiia* [Estimation of parameters and structure identification]. *Avtomatika* [Automation], 1987, no. 6, pp. 21–38.

Генкин А.Л., Гинсберг К.С. К проблеме структурной идентификации для цели создания реальной системы автоматического управления с требуемыми свойствами // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №6 (81). С. 19–24.

For citation: Genkin A.L., Ginsberg K.S. To the problem of structure identification for the purpose of creation of real automatic control system with required properties. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 6 (81), pp. 19–24.