

DOI:

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНИВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАДИЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ТРЕБУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

Гинсберг К.С.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

ginsberg@mail.ru

Аннотация: Утверждается, что информационные возможности алгоритмов структурной идентификации для цели проектирования систем автоматического управления зависят не только от свойств этих алгоритмов, но и от применяемой коллективом разработчиков методологии структурной идентификации. Именно методология задает состав и структуру процесса подготовки исходных данных, которые затем обрабатываются алгоритмами структурной идентификации. Поэтому считается, что первым этапом исследований информационных возможностей является разработка и детальное изложение методологии структурной идентификации. Именно эту задачу решает настоящая работа.

Ключевые слова: структурная идентификация, алгоритмы выбора модельной структуры, подход, методология, понятия, информационные возможности.

Введение

Под информационными возможностями алгоритма структурной идентификации для цели проектирования понимается достижимая в определенных условиях информация, содержащаяся в выходных данных алгоритма в процессе структурной идентификации, которая непосредственно или косвенно полезна для проектирования САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности. Информационные возможности как определенная характеристика выходных данных алгоритма структурной идентификации зависят не только от собственных свойств этого алгоритма как процедуры выбора модельной структуры, но и от применяемой коллективом разработчиков САУ методологии структурной идентификации. Именно методология задает состав и структуру процесса подготовки исходных данных, которые затем обрабатываются алгоритмом структурной идентификации. Поэтому считается, что первым этапом исследований информационных возможностей является разработка и детальное изложение рекомендуемой для практического использования методологии структурной идентификации. Именно эту задачу решает настоящая работа.

В настоящее время не существует системы научных и технических знаний, признанной в качестве методологии (системы методов рациональной организации) структурной идентификации для проектирования САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности. В самом первом приближении эта методология представляет собой, с точки зрения автора, научно обоснованную детализированную системно-функциональную эталонную модель рационального поведения субъекта структурной идентификации в условиях априорной структурной неопределенности. Ее основное назначение – информационная поддержка разработчиков проектируемой САУ в качестве модели «для подражания». Под системно-функциональной моделью поведения субъекта структурной идентификации понимается концептуальная модель, которая включает не только функциональную модель поведения субъекта структурной идентификации, но и функциональную модель поведения субъекта системного окружения структурной идентификации.

Указанное состояние научного знания о структурной идентификации представляется недопустимым по двум основаниям. Во-первых, техническое обновление устаревших производственных фондов всегда связано с вводом в действие нового более высокопроизводительного основного технологического оборудования (объекта управления) и соответственно с вводом в действие новой более эффективной системы управления. При этом часто требуется ввести в действие систему управления (или, по крайней мере, окончить ее монтаж) одновременно с вводом в действие основного технологического оборудования, что во многих случаях невозможно без проведения структурной идентификации в чрезвычайно короткие сроки. Для этого необходима хорошо разработанная методология структурной идентификации.

Во-вторых, использование методологии позволяет значительно уменьшить интеллектуальные трудности реализации процесса структурной идентификации, уменьшить ее продолжительность и снизить требования к профессиональной подготовке разработчиков систем управления.

Отсутствие общепризнанной методологии структурной идентификации имеет место при значительном научном интересе к проблеме структурной идентификации и публикации большого числа исследований по этой проблеме. На основе анализа этих публикаций можно выделить следующие вехи. Известно, что в период с 1937 по 1969 гг. опубликованы книги [1-4], которые содержат разделы, посвященные проблеме структурной идентификации. В период с 1966 по 1968 гг. появляются обзоры [5-7], в которых имеются ссылки на работы по этой проблеме.

В 70-х гг. прошлого века разделы, посвященные указанной проблеме, имеются, как минимум, уже в 10 книгах и 8 обзорах. Изучение проблемы особенно активно ведется в 80-е годы прошлого века. Исследования данного периода изложены не менее чем в 25 книгах и 16 обзорах. Начиная с 90-х гг. прошлого века, интенсивность публикаций заметно снижается.

В подавляющем большинстве публикаций по проблеме структурной идентификации решается проблема разработки математических методов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур технического объекта (кратко – методов выбора модельной структуры). Только небольшое количество публикаций включает разделы, содержание которых с большой долей сомнения можно отнести к исследованиям по различным аспектам методологии структурной идентификации.

В зависимости от содержания конкретного применения и установок пользователя с помощью метода выбора модельной структуры можно создать различные алгоритмы выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур. Эти алгоритмы в дальнейшем мы называем алгоритмами структурной идентификации. Здесь и далее термином «модельная структура» обозначено семейство математических моделей технического объекта, параметризованное скалярным или векторным параметром с заданным множеством допустимых значений в евклидовом пространстве. Все параметры этого семейства выбираются таким образом, чтобы их эмпирические значения можно было определить на основе традиционных методов параметрической идентификации.

Направление исследований, которое преимущественно нацелено на разработку математических методов выбора модельной структуры, назовем традиционным. Это направление, по мнению автора, включает все публикации по проблеме структурной идентификации до начала 2015 года и продолжается в настоящее время. Возникновение и широкое развитие традиционного направления вызвано насущными потребностями инженерной практики в адекватных математических моделях объектов управления.

Небольшое количество научных публикаций в области методологии вызвано существенными трудностями осознания и постановки проблемы структурной идентификации из-за ее междисциплинарного характера и слабой научной изученности деятельности человека в процессе структурной идентификации. Междисциплинарный характер обусловлен двумя причинами. Во-первых, субъектом структурной идентификации является познающий и принимающий интеллектуальные решения коллектив разработчиков, использующий наукоемкие технические средства. Во-вторых, ясное и четкое моделирование структурной идентификации возможно только при совместном описании познавательной деятельности коллектива разработчиков и процесса функционирования наукоемких технических средств, которые он использует. Эти средства являются физической реализацией математических методов, разработанных в идентификации систем и других традиционных научных дисциплинах.

Результатом познавательной деятельности коллектива разработчиков является семейство интерпретированных математических моделей, которую разработчики воспринимают как хорошо обоснованную гипотезу об адекватной модельной структуре технического объекта. Обширные исследования познавательной деятельности традиционно осуществляется в когнитивной науке. Однако эти исследования не распространяются на структурную идентификацию для цели проектирования систем автоматического управления. Аналогичная ситуация имеет место в научных дисциплинах в области науки управления. Проблемы познавательной деятельности, возникающие в процессе структурной идентификации для цели проектирования, до сих пор научно не исследуются в этих дисциплинах.

Поэтому при осознании и постановке проблемы структурной идентификации возникают трудности двух типов. Во-первых, возникают трудности совместного использования понятий различных научных дисциплин, преодоление которых, с точки зрения автора, связано с созданием отсутствующей в

настоящее время системы междисциплинарных понятий. Во-вторых, возникают трудности в понимании возможного поведения разработчиков в процессе структурной идентификации, которые, по мнению автора, преодолеваются путем создания детализированных системно-функциональных эталонных моделей рационального поведения субъекта структурной идентификации.

Из-за существенных трудностей осознания и постановки проблемы структурной идентификации не удастся решить четыре фундаментальные проблемы традиционного направления исследований:

- проблему отыскания и научного обоснования теоретического критерия качества алгоритмов структурной идентификации;
- проблему математического обоснования алгоритмов структурной идентификации;
- проблему статистического синтеза оптимальных алгоритмов структурной идентификации;
- проблему оценивания информационных возможностей алгоритмов структурной идентификации в процессе реализации инженерной практики создания САУ с требуемыми свойствами.
- Предполагается, что имеющиеся трудности можно существенно уменьшить путем конкретизации контекста и содержания междисциплинарных проблем. Для реализации этой идеи сформулирован конкретно-прикладной (нетрадиционный) подход к проблеме структурной идентификации технического объекта. Его ключевые установки:
 - перейти от исследований проблемы структурной идентификации в общем и целом к исследованию проблем конкретных видов структурной идентификации, возникающих в современной инженерной практике;
 - структурную идентификацию технического объекта рассматривать как процесс практического познания этого объекта, системный объект и обязательную компоненту инженерной практики создания технических систем с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности;
 - методы организации конкретного вида структурной идентификации разрабатывать на основе учета особенностей порождающей этот вид инженерной практики и применения общих положений системного, функционального и когнитивного подходов.

Основываясь на этих ключевых установках, в настоящей работе проводятся научные исследования в следующих направлениях: постановка проблемы методологии структурной идентификации для проектирования систем автоматического управления с требуемыми свойствами, раскрытие базисного содержания ключевых понятий методологии, формулировка ключевых познавательных установок субъекта структурной идентификации, разработка системно-функциональной эталонной модели рационального поведения субъекта структурной идентификации.

В качестве первоначальных истоков этих исследований можно назвать достаточно большое число работ, опубликованных в период 80 - 90-е годы XX века. Однако эти работы в совокупности создают только интеллектуальные предпосылки для начала исследований в области методологии структурной идентификации. Из-за наличия на MLSD'2020 ограничений в количестве приводимых библиографических ссылок, нельзя указать все эти работы, что было бы очень полезно. Поэтому ограничимся ссылками только на публикации [8-10], по содержанию которых можно адекватно оценить уровень понимания структурной идентификации, достигнутый в 80 - 90-е годы XX века.

1 Постановка проблемы методологии структурной идентификации

Конкретизация ключевых установок разработанного конкретно-прикладного подхода на основе учета особенностей современной инженерной практики создания САУ позволяет дополнить этот подход установкой на проектирование структурной идентификации в рамках данной практики как процесса, обладающего тремя базисными свойствами:

- субъектом структурной идентификации является коллектив разработчиков САУ, который осуществляет практическое познание технического объекта как объекта управления, нацелен на построение его адекватной модельной структуры и мотивирован на создание реальной САУ с требуемыми свойствами;
- структурная идентификация является обязательной компонентой инженерной практики создания реальной САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности;
- структурную идентификацию нельзя вычленивать из инженерной практики создания реальной САУ с требуемыми свойствами и рассматривать независимо и автономно от других процессов этой практики, не потеряв при этом существенных для ее функционирования связей.

Указанные базисные свойства занимают особое место в составе методологии, задавая начальное общее представление о структурной идентификации. Поэтому в качестве основной гипотезы исследований по проблеме методологии примем следующее утверждение. Необходимым условием успешной разработки методологии структурной идентификации является соответствие ее содержания трем базисным свойствам структурной идентификации.

Приведенные формулировки базисных свойств содержат термины, которые требуют детальных пояснений для их ясного и четкого понимания. Частично это можно сделать с помощью следующих определений.

1) Под априорной структурной неопределенностью понимается: а) отсутствие у разработчиков САУ в момент принятия решения о начале процесса автоматизации объекта достоверного знания об адекватной модельной структуре технического объекта; б) наличие у разработчиков убеждения, что достоверное знание об адекватной модельной структуре технического объекта нельзя получить только на основе открытых фундаментальных законов естествознания и известных в науке и инженерной практике эмпирических законов и закономерностей. Полагается, что отсутствие достоверного знания об адекватной модельной структуре технического объекта возникает в результате слабой модельной изученности технического объекта как объекта управления.

2) Под адекватной модельной структурой технического объекта понимается модельная структура, которая обладает двумя основными свойствами. Во-первых, она содержит адекватную математическую модель технического объекта для проектирования САУ с требуемыми свойствами. Во-вторых, на основе адекватной модельной структуры и имеющихся эмпирических данных о техническом объекте коллектив разработчиков может построить математическую модель, которую по результатам опытной эксплуатации макетного образца проектируемой САУ данный коллектив со значительной долей уверенности назовет адекватной математической моделью технического объекта или всесторонне обоснованной гипотезой об адекватной математической модели технического объекта.

3) Адекватной математической моделью технического объекта называется математическая модель, имеющая такой уровень функционального подобия моделируемому объекту, при котором на основе этой модели коллектив разработчиков может создать реальную САУ с требуемыми свойствами, т.е. САУ, удовлетворяющую требованиям заказчика в отношении ее статических и динамических свойств. Адекватная математическая модель технического объекта представляет этот объект в математической формулировке адекватной задачи синтеза закона управления техническим объектом.

4) Адекватной задачей синтеза закона управления техническим объектом называется математическая задача, точное решение которой или приемлемое приближение к точному решению является законом управления, который должен реализовывать регулятор реальной САУ для того, чтобы эта САУ обладала требуемыми свойствами.

5) Термин «практическое познание технического объекта» употребляется в значении «познание технического объекта в процессе инженерной практики создания реальной технической системы с требуемыми свойствами». Практическое познание всегда осуществляется не ради отыскания математических моделей технического объекта, а для оперативного и рационального создания реальной технической системы, удовлетворяющей требованиям заказчика.

Центральный вопрос проблемы методологии сформулируем следующим образом. Какой должна быть методология структурной идентификации, чтобы на основе ее методов профессионально подготовленные коллективы разработчиков САУ могли организовать процесс выдвижения гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта, способных выдержать в системном окружении структурной идентификации заданную разработчиками всестороннюю проверку на соответствие требованиям заказчика в отношении статических и динамических свойств проектируемой САУ?

Содержание проблемы методологии уточним в двух направлениях. Во-первых, дадим краткую формулировку противоречия, которое привело к образованию проблемы. Во-вторых, укажем предположительный ответ на центральный вопрос.

Относительно противоречия полагается следующее. Это противоречие состоит в наличии существенного несоответствия между современным научным знанием о структурной идентификации и методах ее организации и тем гипотетически возможным знанием, которым коллектив разработчиков должен обладать, чтобы рационально организовать и провести структурную идентификацию в рамках конкретной инженерной практики создания САУ.

Под методологией в первом приближении понимается система научного знания, состоящая из определенной совокупности понятий и терминов, эталонных моделей рационального поведения субъекта структурной идентификации разной степени детальности, эталонных моделей системного

окружения структурной идентификации, эталонных моделей ключевых познавательных установок субъекта структурной идентификации, методов автоматизации функций субъекта структурной идентификации.

Термином «эталонная модель» здесь и далее обозначена модель, которая предназначена для информационной поддержки коллектива разработчиков САУ в качестве модели для «подражания».

Какие модели и методы в первую очередь должны разрабатываться при создании подобным образом сформулированной проблемы методологии? Для ответа на этот вопрос необходимо понять, какое знание является наиболее полезным для коллектива разработчиков с точки зрения выполнения им функции субъекта структурной идентификации в современной инженерной практике. Ведь именно для адекватного выполнения этой функции создается методология. Представляется, что такое знание состоит из эталонных моделей рационального поведения субъекта структурной идентификации, сформулированных и интерпретированных с помощью набора понятий и терминов методологии.

Поэтому в настоящей работе предлагается в первую очередь разрабатывать ключевые понятия методологии, системно-функциональную эталонную модель рационального поведения субъекта структурной идентификации, эталонную модель ключевых познавательных установок субъекта структурной идентификации.

2 Понятие о рациональной структурной идентификации

Согласно установившейся традиции, понятие о рационально организованной структурной идентификации для проектирования САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности должно быть обозначено определенным термином. Это необходимо для широкого употребления понятия в устной и письменной речи. В качестве имени понятия возьмем словосочетание «рациональная структурная идентификация». Указанному словосочетанию дадим определение, задающее его однозначное толкование в рамках современного научного знания об идентификации систем. Наличие однозначного определения и использование словосочетания в качестве обозначения позволяют интерпретировать его как определенный термин. Этот термин используется также как обозначение (наименование) рационально организованной структурной идентификации для проектирования реальной САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности.

Смысловое значение термина, выделяемое сконструированным определением, рассматривается как базисное содержание понятия «рациональная структурная идентификация». Остальное содержание этого понятия формируется под влиянием контекста, в котором употребляется его обозначение (имя). Становление основного содержания понятия – длительный и трудный познавательный процесс. Его длительность и трудность в первую очередь вызваны системным характером формирования понятий. Согласно этому свойству, понятие «рациональная структурная идентификация» создается не автономно и независимо, а одновременно и совместно с формированием всех понятий концептуальной модели инженерной практики создания САУ в условиях априорной структурной неопределенности.

В качестве определения термина «рациональная структурная идентификация» примем следующее утверждение. Рациональной структурной идентификацией называется структурная идентификация, которая организуется субъектом структурной идентификации с рациональным поведением в условиях априорной структурной неопределенности.

Под рациональным поведением понимается система взаимосвязанных непосредственно наблюдаемых действий, осуществляемых субъектом структурной идентификации с целью порождения и первичной проверки гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта на основе анализа и синтеза знаний и эмпирических данных об этом объекте. Целью системы взаимосвязанных действий является выдвижение гипотез, способных выдержать в системном окружении рациональной структурной идентификации заданную коллективом разработчиков САУ всестороннюю проверку на соответствие требованиям заказчика в отношении статических и динамических свойств проектируемой САУ.

Указанное поведение называется рациональным, так как оно реализует основные идеи гипотетико-дедуктивного метода познания и системного подхода. Поэтому предполагается, что в методологическом аспекте это поведение лучше обосновано, чем другие процедуры, основанные на иных идеях и имеющие аналогичные цели.

Из приведенного определения в качестве следствия можно получить более краткое, но менее содержательно точное новое определение термина «рациональная структурная идентификация».

Под рациональной структурной идентификацией понимается итерационный процесс порождения и первичной проверки гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности на основе анализа и синтеза знаний и эмпирических данных об этом объекте, целью которого является выдвижение гипотез, способных выдержать в системном окружении рациональной структурной идентификации заданную коллективом разработчиков САУ всестороннюю проверку на соответствие требованиям заказчика в отношении статических и динамических свойств проектируемой САУ.

Приведенные определения содержат термины «структурная идентификация», «системное окружение», которые требуют детальных пояснений для их ясного и четкого понимания. Частично это можно сделать с помощью следующих определений.

Под структурной идентификацией в самом общем смысле понимается процесс поиска адекватной модельной структуры технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности на основе анализа и синтеза знаний и эмпирических данных об этом объекте. Слово «адекватной» в словосочетании «процесс поиска адекватной модельной структуры» указывает на соответствие указанной модельной структуры содержанию (условиям и требованиям) прикладной задачи, для решения которой в качестве вспомогательного средства организуется структурная идентификация технического объекта.

Под системным окружением структурной идентификации понимается часть системного контекста структурной идентификации, которая может быть получена из этого контекста путем исключения из него структурной идентификации. Системным контекстом структурной идентификации называется система реальных процессов и научного знания, которая включает структурную идентификацию технического объекта и определяет ее базисные свойства и назначение.

Потребность в структурной идентификации возникает у коллектива разработчиков САУ в том случае, если принято решение о начале процесса автоматизации технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности. Структурная идентификация состоит из: а) познавательной деятельности коллектива разработчиков САУ, включающей коллективную и индивидуальную мыслительную деятельность разработчиков, взаимодействия разработчиков с техническими средствами структурной идентификации, знаниями и эмпирическими данными о техническом объекте, процессах структурной идентификации и ее системного окружения; б) процессов функционирования технических средств структурной идентификации.

Проблема рациональной структурной идентификации, в частности, состоит в том, чтобы установить, на основе каких познавательных установок и эталонных моделей поведения коллектив разработчиков должен формировать свое рациональное поведение.

3 Понятие о ключевых познавательных установках

В условиях априорной структурной неопределенности коллектив разработчиков руководствуется в первую очередь своими познавательными установками, т.е. своей внутренней устойчивой предрасположенностью, основанной на прошлом опыте и профессиональными знаниями и навыками, определенным образом познавать объекты автоматизации и интерпретировать полученные данные и информацию. Какими познавательными установками должен обладать коллектив разработчиков для того, чтобы осуществить структурную идентификацию? Приведем ключевые с нашей точки зрения установки, которые в совокупности образуют определенную эталонную модель познавательных установок субъекта структурной идентификации.

1) **Установка на применение системного подхода.** Применение системного подхода к процессу решения проблем структурной идентификации является необходимым условием их разрешения.

Использование этой установки позволяет создать общее системное видение структурной идентификации в целом. Суть ее в следующем. Структурная идентификация является частью определенной инженерной практики создания САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности. Все процессы этой практики образуют систему, для которой конечная (главная) цель инженерной практики выступает в качестве системообразующего фактора. Структурная идентификация организуется как определенное средство, способствующее достижению главной цели инженерной практики: созданию САУ с требуемыми свойствами. Ее собственная цель должна быть согласована с этой главной целью, т.е. конечный результат структурной идентификации является необходимым условием создания САУ. Поэтому структурную идентификацию необходимо исследовать не только как систему процессов, но и как объект, принадлежащий определенной системе процессов, т.е. как системный объект.

Именно содержание системного подхода выступает в качестве методологического обоснования третьего базисного свойства структурной идентификации, согласно которому «структурную идентификацию нельзя вычленивать из инженерной практики создания реальной САУ с требуемыми свойствами и рассматривать независимо и автономно от других процессов этой практики, не потеряв при этом существенных для ее функционирования связей».

2) **Установка на применение гипотетико-дедуктивного метода познания.** Выбор гипотетико-дедуктивного метода познания в качестве базисной методологической основы практического познания технического объекта является необходимым условием осуществления структурной идентификации и процессов отыскания всесторонне обоснованных гипотез об адекватной математической модели технического объекта.

В случае использования данной установки структурная идентификация, образно говоря, представляет собой «генератор» гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта, а ее системное окружение является «испытательным полигоном» для всесторонней проверки этих гипотез.

3) **Установка на проведение структурной идентификации.** Структурная идентификация является средством выдвижения и первичной проверки гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта в условиях, когда эту модельную структуру нельзя получить только на основе открытых фундаментальных законов естествознания и известных в науке и инженерной практике эмпирических законов и закономерностей.

Коллектив разработчиков в условиях отсутствия достоверного знания об адекватной модельной структуре имеет две возможности. Во-первых, он может попытаться получить адекватную модельную структуру или адекватную математическую модель технического объекта только на основе открытых фундаментальных законов естествознания и известных в науке и инженерной практике эмпирических законов и закономерностей. Во-вторых, он может организовать структурную идентификацию как средство выдвижения и первичной проверки гипотез об адекватной модельной структуре. Представляется разумным сначала попытаться получить требуемое модельное знание о техническом объекте на основе применения известных законов и закономерностей. И только при отсутствии этой возможности реализовать установку на проведение структурной идентификации.

4) **Установка на выполнение функции субъекта.** Выполнение коллективом разработчиков функции субъекта практического познания технического объекта, является необходимым условием осуществления структурной идентификации.

В условиях априорной структурной неопределенности решающее влияние на процесс принятия решения начинают оказывать такие чисто человеческие качества, как познавательные способности, профессиональная подготовленность, имеющиеся знания, способность устанавливать аналогию между определенным математическим уравнением и имеющимися у разработчиков технологическими и техническими знаниями о техническом объекте. Поэтому организация и осуществление структурной идентификации становятся возможными только в результате наличия целенаправленной и организующей деятельности коллектива разработчиков САУ, то есть в условиях выполнения им функции субъекта этой идентификации.

5) **Установка на порождение гипотез.** Основная цель текущей итерации структурной идентификации – выдвижение одной или нескольких гипотез об адекватной модельной структуре, которые способны выдержать в системном окружении этой идентификации заданную коллективом разработчиков САУ всестороннюю проверку на соответствие требованиям заказчика в отношении статических и динамических свойств проектируемой САУ.

Первичная проверка выдвинутых гипотез об адекватной модельной структуре осуществляется непосредственно в процессе текущей итерации структурной идентификации. Окончательная проверка выдвинутых гипотез об адекватной модельной структуре осуществляется в системном окружении структурной идентификации с обязательным использованием прямого измерения значения практической эффективности этих гипотез. Под практической эффективностью гипотезы об адекватной модельной структуре понимается степень выполнения требований заказчика к динамическим и статическим свойствам проектируемой САУ для ее макетного образца, разработанного с использованием оцениваемой гипотезы. Прямое измерение значения практической эффективности гипотезы об адекватной модельной структуре формируется на основе результатов опытной эксплуатации макетного образца проектируемой САУ, разработанного с использованием оцениваемой гипотезы.

6) **Установка на всестороннюю проверку.** Проверка в системном окружении структурной идентификации гипотез об адекватной модельной структуре во всех существенных для производства

режимах функционирования технического объекта является необходимым условием осуществления структурной идентификации.

7) **Установка на проведение опытной эксплуатации.** Проведение опытной эксплуатации макетного образца проектируемой САУ является необходимым условием определения прямых измерений значений практической эффективности гипотезы об адекватной модельной структуре.

8) **Установка на формирование представительной выборки.** Наличие представительной выборки измерений входных и выходных сигналов технического объекта является необходимым условием осуществления структурной идентификации.

4 Понятие о рациональном поведении субъекта структурной идентификации

В настоящем разделе представлена вербально и графически системно-функциональная эталонная модель рационального поведения субъекта структурной идентификации. Эта модель получена путем существенного развития традиционных представлений о структурной идентификации на основе более полного и точного учета на модельном уровне реальной и возможной деятельности коллектива разработчиков, его познавательной активности, системности и целенаправленности процессов структурной идентификации.

Разработанная модель называется эталонной по двум причинам. Во-первых, она предназначена для информационной поддержки коллектива разработчиков в качестве модели для «подражания». Во-вторых, эта модель представляет собой концептуальное описание предлагаемого эталона рационального поведения коллективов разработчиков САУ в структурных идентификациях для различных технических объектов. Далее изложены основные положения этой модели.

Рациональное поведение субъекта структурной идентификации представляет собой итерационный процесс, каждая итерация которого включает четыре стадии:

- содержательная постановка проблемы отыскания адекватной модельной структуры технического объекта;
- определение наиболее предпочтительных (с точки зрения определенных показателей) гипотез об адекватной модельной структуре;
- экспертное оценивание и анализ наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре;
- принятие решения о переходе к следующей итерации рационального поведения субъекта или решения о начале всесторонней проверки в системном окружении структурной идентификации наиболее предпочтительных гипотез, определенных на стадии 2) и прошедших первичную проверку на стадии 3).

Первая стадия итерации – содержательная постановка проблемы отыскания адекватной модельной структуры технического объекта (кратко – **проблемы**). Цель первой стадии – сформировать ясное и четкое представление о **проблеме**, позволяющее начать процесс ее рационального решения.

Вторая стадия итерации – определение наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре. Эта стадия включает четыре этапа:

- 1) экспертный анализ причин отклонения гипотез об адекватной модельной структуре, исследованных в системном окружении рациональной структурной идентификации до начала текущей итерации;
- 2) формирование набора рабочих гипотез об адекватной модельной структуре;
- 3) отбор приемлемых (с точки зрения разработчиков) методов выбора наиболее предпочтительной гипотезы из заданного набора рабочих гипотез;
- 4) определение наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре с помощью приемлемых методов выбора.

На рис. 1 изображена блок-схема системно-функциональной эталонной модели рационального поведения субъекта структурной идентификации в условиях априорной структурной неопределенности. Каждый прямоугольник (блок) этой модели представляет определенную функцию поведения, содержание которой отражено в названии блока. Например, блок 1 представляет функцию поведения субъекта структурной идентификации в текущей итерации этой идентификации. Блок 2 – функцию поведения субъекта инженерной практики создания САУ с требуемыми свойствами в системном окружении текущей итерации структурной идентификации.

Условия возникновения потребности в рациональной структурной идентификации (СТИ)

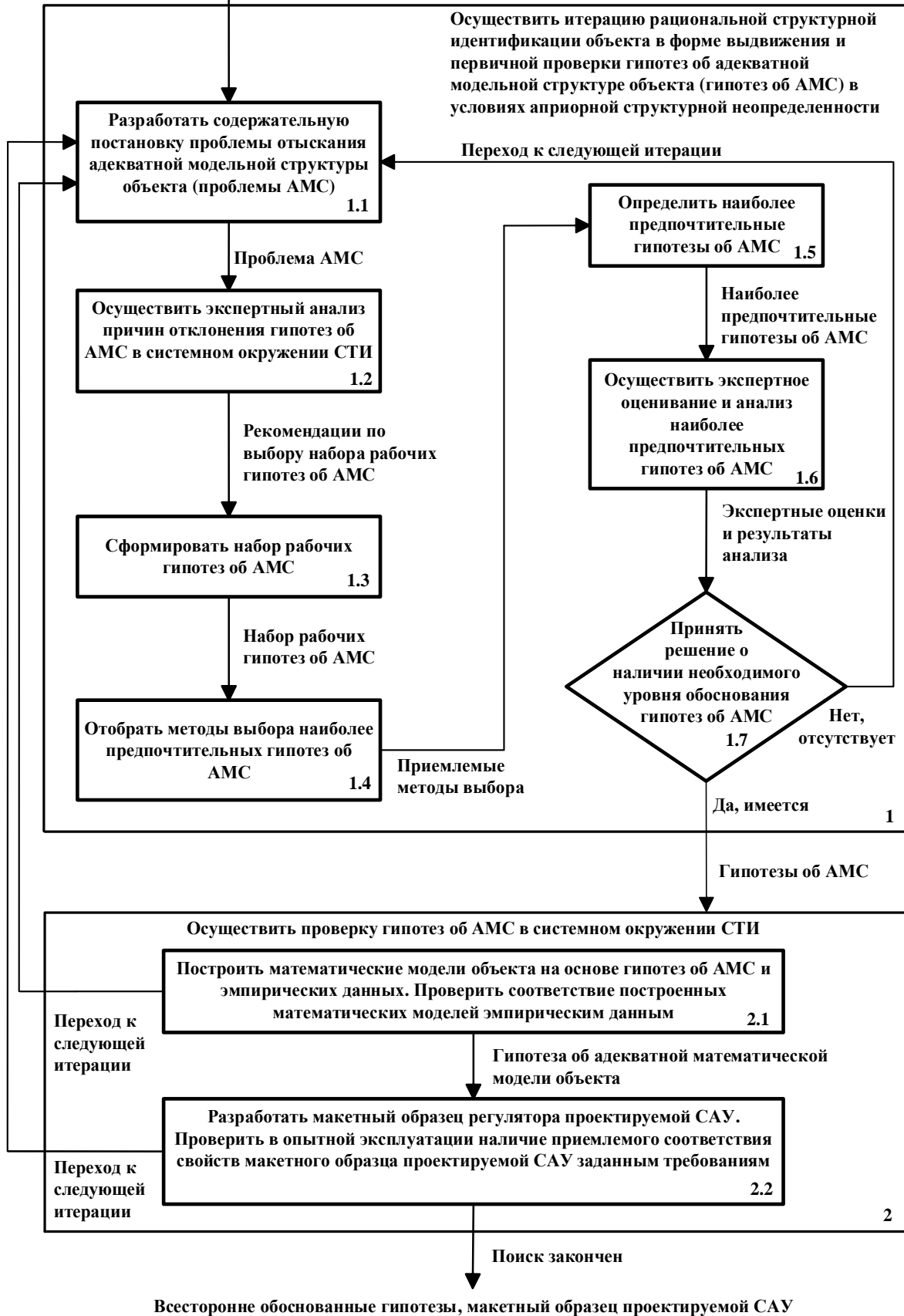


Рис. 1. Блок-схема системно-функциональной эталонной модели рационального поведения субъекта структурной идентификации в условиях априорной структурной неопределенности

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.

Формирование набора рабочих гипотез для текущей итерации осуществляется на основе имеющихся у него знаний и эмпирических данных о техническом объекте, включающих результаты испытаний ранее выдвинутых и отклоненных наиболее предпочтительных гипотез.

Цель первого и второго этапов второй стадии – формирование такого набора рабочих гипотез, в котором хотя бы одна гипотеза содержит точное математическое описание адекватной модельной структуры, т.е. является верной гипотезой. Цель третьего и четвертого этапов второй стадии – выбор верной гипотезы из имеющегося набора рабочих гипотез в случае, если этот набор содержит верную гипотезу.

Третья стадия итерации – экспертное оценивание и анализ наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре. Эта стадия включает четыре этапа:

- 1) исследование наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре с целью создания эмпирической основы для реализации экспертного оценивания и анализа;
- 2) экспертное оценивание значений функционального подобия между моделируемым техническим объектом и моделью-представителем каждой модельной структуры, содержащейся в проверяемых наиболее предпочтительных гипотезах;
- 3) экспертный анализ экспериментальных и теоретических оснований для выдвижения гипотезы об адекватной математической модели технического объекта;
- 4) экспертное оценивание значений практической эффективности проверяемых наиболее предпочтительных гипотез.

Цель третьей стадии – на основе экспертного оценивания и анализа выявить наиболее предпочтительных гипотезы, которые не содержат точного математического описания адекватной модельной структуры.

При разработке блок-схем на рис. 1 использовались дополнительно следующие сокращения: АМС – адекватная модельная структура технического объекта; СТИ – рациональная структурная идентификация; проблема АМС – проблема отыскания адекватной модельной структуры технического объекта; макетный образец проектируемой САУ – система автоматического управления, которая состоит из автоматизируемого технического объекта, системы измерения входных и выходных сигналов объекта и макетного образца регулятора проектируемой САУ; опытная эксплуатация – производственные испытания макетного образца проектируемой САУ, которые осуществляются во всех существенных для производства режимах функционирования технического объекта.

Заключение

Представляется, что наиболее важными в настоящее время являются следующие направления исследований по методологии структурной идентификации:

- 1) разработка системы основных понятий и представлений методологии структурной идентификации;
- 2) разработка научно обоснованной детализированной системно-функциональной модели рационального поведения коллектива разработчиков в структурной идентификации;
- 3) разработка методов статистического синтеза оптимальных алгоритмов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур технического объекта;
- 4) разработка и реализация подхода к оцениванию информационных возможностей алгоритмов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из заданного набора модельных структур технического объекта;
- 5) разработка методов формирования наборов рабочих гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта с учетом результатов уже проведенных испытаний наиболее предпочтительных гипотез в системном окружении структурной идентификации;
- 6) разработка научно обоснованных эмпирических показателей функционального подобия между моделируемым техническим объектом и моделью-представителем произвольной модельной структуры технического объекта;

- 7) разработка теоретического показателя, характеризующего качество конкретных алгоритмов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры в рамках текущей итерации рациональной структурной идентификации.

В условиях априорной структурной неопределенности деятельность коллектива разработчиков САУ особенно нуждается в эффективной информационной поддержке. Разработка концептуальных основ методологии структурной идентификации является первым и очень важным этапом создания методологического и математического обеспечения этой информационной поддержки.

Настоящая работа выполнена в рамках комплексного проекта Минобрнауки 10.331–17 «Моделирование и интеллектуальное управление производственными процессами в промышленности и электроэнергетике».

Литература

1. *Snedecor G.W.* Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. – Ames, Iowa: Collegiate Press, 1937. – 341pp.
2. *Williams E.J.* Regression Analysis. – News York: John Wiley and Sons, 1959. – 214pp.
3. *Plackett R.L.* Principles of regression analysis. – Oxford. : At the Clarendon Press, 1960. – 173pp.
4. *Снедекор Дж. У.* Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 503с.
5. *Маслов Е.П., Оссовский Л.М.* Самонастраивающиеся системы управления с моделью // *АиТ.* 1966. № 6. – С.204-224.
6. *Райбман Н.С., Хани О.Ф.* Дисперсионные методы идентификации многомерных нелинейных объектов управления // *АиТ.* 1967. № 5. – С.5-28.
7. *Александров Н.М., Дейч А.М.* Методы определения динамических характеристик нелинейных объектов // *АиТ.* 1968. № 1. – С.167-188.
8. *Isermann R.* New result on the identification of processes // *Automatica.* 1971. Vol. 7. № 2. – P.191-197.
9. *Eykhoff P.* Identification Theory: Practical Implications and Limitations // *Proceeding of the 4th IMEKO Symposium on Measurement and Estimation, Bressanone (Brixen), Italy, May 8-12, 1984.* – P.VI-XVI.
10. *Ljung L.* System Identification – Theory for User. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1987. – 519pp.