

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Гинсберг К.С.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
ginsberg@mail.ru

Аннотация. Предполагается, что с помощью адекватной поддержки разработчиков САУ в планировании познавательной деятельности и в разработке методов выбора можно существенно уменьшить трудности организации структурной идентификации. Настоящая работа посвящена разработке предварительной формулировки проблемы создания метода комбинированной поддержки субъекта структурной идентификации.

Ключевые слова: структурная идентификация, проблема рациональной организации, формулировка проблемы, метод комбинированной поддержки, функциональная эталонная модель поведения, математические методы структурной идентификации.

Введение

В качестве понятийной основы настоящей работы использованы термины и понятия, представленные в статье [1]. Для более ясного и четкого понимания этих терминов в определении некоторых терминов внесены определенные изменения.

Представленная в статье [1] краткая характеристика структурной идентификации порождает представление об этой идентификации как о трудном процессе с точки зрения его рациональной организации. Аналогичный образ возникает и при изучении содержания других исследований по структурной идентификации (смотри, например, работы [2–20]). Организация и реализация подобного процесса, несомненно, требует существенной информационной поддержки. Поэтому субъект структурной идентификации должен иметь возможность получить необходимую информационную поддержку по всем трудным для него аспектам своей деятельности. На самом деле, в реальности такая возможность отсутствует. И это существенно затрудняет применение структурной идентификации на предпроектных стадиях создания САУ, практически исключает её использование в процессах инженерной практики.

Какой же объективный фактор не позволяет создать необходимые средства поддержки? Ведь понимание актуальности проблем структурной идентификации объектов управления появилось уже в далекие 60-е годы прошлого века, а может быть еще и раньше. Таким фактором, несомненно, является недостаточность имеющегося теоретического знания для создания методов поддержки. Выбор именно этого фактора правильно отражает объективно существующую причинную связь, хотя и дает неполное объяснение. Более трудно ответить на вопрос, какой, по-видимому, длительно действующий фактор привел к возникновению указанной недостаточности теоретического знания. Для того, чтобы правильно ответить на этот вопрос, необходимо, во-первых, признать, что в рамках инженерной практики создания САУ субъектом структурной идентификации объекта управления является коллектив разработчиков САУ. Во-вторых, необходимо обратить внимание на то, что выполнение коллективом разработчиков функции субъекта не позволяет исключить изучение его познавательной деятельности из предмета исследований, нацеленных на разработку методов комбинированной поддержки. Все это означает, что предмет исследований в области структурной идентификации систем должен включать изучение информационного взаимодействия объектов, которые существенно различны по природе и составу.

Для описания и объяснения так понимаемой структурной идентификации объекта управления необходимо дисциплинарное знание различных научных дисциплин. Но этого недостаточно, так как дисциплинарное знание характеризует только отдельные аспекты объектов исследования и не содержит междисциплинарного знания о взаимодействии этих аспектов. Для создания указанного знания необходимо проводить междисциплинарные исследования, результатом которых, в частности, является формирование представительного набора междисциплинарных понятий. Желательным итогом междисциплинарных исследований, как это сегодня мыслится, является создание такого концептуального знания о структурной идентификации, которое можно формализовать, а результат формализации использовать для разработки математических основ структурной идентификации.

Такое междисциплинарное знание в настоящее время отсутствует. И этот факт является убедительным обоснованием трудности создания междисциплинарного знания о структурной идентификации. Именно необходимость реализовать междисциплинарные исследования

существенно затормозила, а если сказать точнее, почти остановила методологические исследования по структурной идентификации объектов управления. Понятно также, что междисциплинарность как неотъемлемое свойство методологических исследований никуда не исчезнет. И «барьер» междисциплинарности все равно придется преодолевать. Вопрос состоит только в том, можно ли каким-то способом уменьшить трудности его преодоления. Представляется, что можно. Но для этого необходимо сначала обратить внимание на то, что структурная идентификация не функционирует независимо от других процессов создания САУ, а является системным объектом, то есть объектом системы. Поэтому ее системное окружение, с которым она должна находиться в системном единстве, можно интерпретировать как источник концептуального знания о структурной идентификации. Представляется также, что активное применение системного подхода на всех этапах междисциплинарного исследования по структурной идентификации может существенно облегчить формирование междисциплинарного знания. Эта идея требует научного обоснования, но интуитивно кажется почти очевидной.

Цель настоящего исследования – разработка предварительной формулировки проблемы рациональной организации структурной идентификации объектов управления.

Рациональную организацию структурной идентификации предполагается обеспечить с помощью использования коллективом разработчиков САУ метода комбинированной поддержки. Поэтому указанную проблему можно также назвать проблемой создания метода комбинированной поддержки субъекта структурной идентификации. Представляется, что разработка предварительной формулировки этой проблемы – необходимый этап процесса применения системного подхода к постановке проблемы создания метода комбинированной поддержки.

1. Формулировка проблемы: раздел «Требования»

Под формулировкой проблемы понимается четкое и ясное представление на языке науки содержания проблемы исследования, организованное в форме задачи. Исследованием называется процесс решения проблемы рациональной организации структурной идентификации объекта управления.

Формулировка проблемы рациональной организации структурной идентификации содержит:

- Раздел «Требования».
- Раздел «Условия».

Раздел «Требования» включает:

- Формулировку цели исследования. Под целью исследования понимается разработка метода комбинированной поддержки, обеспечивающего коллектив разработчиков САУ необходимой информационной поддержкой в процессе структурной идентификации объекта управления на предпроектных стадиях создания САУ. Цель исследования – это осознанный образ предполагаемой структуры и возможного содержания метода комбинированной поддержки, создание которого является ожидаемым конечным результатом исследования.
- Формулировку установки на достижение цели исследования.
- Формулировку установки на начало исследования в условиях априорной структурной неопределенности. Согласно этой установке, исследование начинается в условиях, когда исследователь не обладает полным набором знаний и данных об объекте исследования, необходимом для получения решения проблемы. Именно поэтому мы называем имеющееся у исследователя «знание о незнании» проблемой, а не задачей.
- Формулировку основного противоречия исследования.

Под методом комбинированной поддержки понимается средство информационной поддержки, которое содержит:

- Детализированную системно-функциональную эталонную модель поведения коллектива разработчиков САУ в процессе структурной идентификации объекта управления.
- Набор методологических установок субъекта структурной идентификации.
- Набор математических методов, помогающих коллективу разработчиков решать прикладные задачи структурной идентификации.

Под проблемой рациональной организации структурной идентификации понимается фрагмент знания исследователя, который мотивирует исследователя на достижение цели исследования, содержит знание цели исследования и другое личностное знание, содержит недостаточное знание о средствах достижения цели, служит в качестве исходного пункта и предварительного условия порождения нового знания о структурной идентификации.

Под основным противоречием исследования понимается осознаваемое исследователем несоответствие между желательным уровнем теоретического развития методов рациональной организации структурной идентификации и современным уровнем развития этих методов. Указанное противоречие рассматривается как основная причина организации настоящего исследования.

2. Формулировка проблемы: раздел «Условия»

В идеале раздел «Условия» должен включать всю информацию, необходимую для разработки метода комбинированной поддержки. Такая информация до сих пор не получена в научных исследованиях. Более того, не совсем понятно, какие блоки информации должны быть представлены в разделе «Условия». По мнению автора, в этот раздел обязательно должны быть включены:

- Научные представления об априорных математических моделях исследуемых объектов управления и процессов измерения их выходных переменных.
- Концептуальная эталонная модель поведения субъекта структурной идентификации объекта управления.
- Блок-схема функциональной эталонной модели поведения субъекта поиска приемлемой гипотезы об адекватной модельной структуре объекта управления.

Научные представления об априорных математических моделях исследуемых безынерционных объектов управления и процессов измерения их выходной переменной опубликованы в работе [21]. Эти представления не получили дальнейшего научного развития. Поэтому первый блок информации не представлен в настоящей работе.

2.1. Предварительная эталонная модель поведения субъекта структурной идентификации

Предыдущие работы автора, опубликованные на конференциях MLSД, дают основание полагать, что разработанные в значительном количестве математические методы структурной идентификации при всей их высокой эффективности и с учетом будущих улучшений не могут рассматриваться в качестве единственного ключевого средства информационной поддержки разработчиков САУ в процессе структурной идентификации. Более того, автор убежден, что в условиях априорной структурной неопределенности невозможно только с помощью математических средств уменьшить интеллектуальные трудности организации структурной идентификации до приемлемого для разработчиков САУ уровня.

Под математическим методом структурной идентификации понимается определенный общий алгоритм выбора предпочтительной (для этого алгоритма) модельной структуры из любого допустимого набора конкретных модельных структур безынерционного или динамического объекта управления. Модельной структурой объекта управления называется семейство математических моделей объекта управления, параметризованное скалярным или векторным параметром с заданным множеством допустимых значений.

Под априорной структурной неопределенностью понимается особое состояние знания субъекта структурной идентификации перед началом структурной идентификации, когда:

- Субъект не обладает достоверным знанием об адекватной математической модели объекта управления и о множестве математических моделей, которому эта адекватная модель может принадлежать.
- Субъект полагает с достаточной для него степенью уверенности, что это достоверное знание он не может получить на основе открытых фундаментальных законов естествознания и известных в науке и инженерной практике эмпирических законов и закономерностей.

Изложенные методологические установки и приведенные определения формировались под влиянием авторской позиции по вопросу о субъекте структурной идентификации. Согласно разработанным модельным представлениям, субъектом структурной идентификации, обязательно возникающей в условиях априорной структурной неопределенности в процессе создания САУ с требуемыми свойствами, является коллектив разработчиков САУ. Эта авторская позиция, первоначально относящаяся только к структурной идентификации, в дальнейшем была распространена на поиск адекватной математической модели объекта управления и процесс создания САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности.

Представляется, что методологическая позиция исследователя по вопросу о субъекте определяет основное содержание его научных представлений по проблемам структурной идентификации, поиска адекватной математической модели объекта управления, создания САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности.

Необходимость для коллектива разработчиков выполнять функцию субъекта структурной идентификации обусловлена наличием у неё особых свойств, специально постулируемых в рамках разработанных модельных представлений для объяснения возможности порождения в структурной идентификации адекватной модельной структуры объекта управления. Считается, что структурная идентификация может обладать этими свойствами только при наличии в её составе определенной (по содержанию и составу) целенаправленной и направляющей все её процессы системной человеческой деятельности разработчиков. Такое содержание структурной идентификации возможно, но только если ее субъектом является коллектив разработчиков.

Основное назначение структурной идентификации в процессе создания требуемой САУ состоит в порождении адекватной модельной структуры объекта управления. Создание САУ при этом должно осознаваться разработчиками как доминирующий мотив деятельности. Несмотря на это, разработчики не могут выбрать получение адекватной модельной структуры (АМС) в качестве цели своей познавательной деятельности на предпроектных стадиях создания САУ с требуемыми свойствами. Основной причиной указанного поведения является отсутствие измеримости адекватной модельной структуры на предпроектных стадиях создания САУ. На указанных стадиях отсутствует информация об АМС. Разработчики могут достаточно точно опознать адекватную модельную структуру только на проектных стадиях создания САУ. Необходимым условием этого опознания является создание и опытная эксплуатация опытного образца САУ, который разработчики создают на проектных стадиях на основе определенной предпочтительной модельной структуры объекта управления. Разработчики полагают, что предпочтительная модельная структура является адекватной модельной структурой, если опытный образец САУ обладает требуемыми (согласно техническому заданию на проектирование) свойствами.

Поэтому на предпроектных стадиях коллектив разработчиков выбирает в качестве цели своей деятельности в структурной идентификации получение заданной разработчиками приемлемой гипотезы об АМС или, другими словами, приемлемого приближения к АМС. Необходимым условием опознания приемлемой гипотезы об АМС является создание и опытная эксплуатация макетного образца САУ, который разработчики создают на предпроектных стадиях создания на основе предпочтительной модельной структуры объекта управления. Разработчики полагают, что предпочтительная модельная структура является приемлемой гипотезой об АМС, если макетный образец САУ обладает приемлемыми для разработчиков статистическими и динамическими свойствами. Коллектив разработчиков задает требования к характеристикам указанных свойств в формулировке проблемы поиска приемлемой гипотезы об АМС.

Структурная идентификация реализуется на предпроектных стадиях создания САУ и завершается до начала разработки технического задания на проектирование САУ с требуемыми свойствами. Опознание разработчиками её текущего результата как приемлемой гипотезы об АМС воспринимается как сигнал к её завершению. После её завершения разработчики организуют параметрическую идентификацию, разработку технического задания на проектирование САУ, проектирование САУ. Однако в момент опознания и еще достаточно долго они не знают ответа на следующий вопрос. Является ли предпочтительная модельная структура, выбранная математическим методом структурной идентификации, адекватной модельной структурой? Разработчики сформируют ответ на этот вопрос после опытной эксплуатации опытного образца проектируемой САУ. Считается, что структурная идентификация соответствует своему назначению, если все экспериментальные оценки свойств опытного образца САУ удовлетворяют требованиям технического задания на проектирование.

Общие установки, лежащие в основе изложенных предписаний, достаточно точно можно выразить следующими утверждениями:

- Содержание структурной идентификации следует оценивать главным образом с точки зрения его полезности для создания требуемой САУ.
- Организацию структурной идентификации желательно осуществить в форме, обеспечивающей наибольшую ее полезность для создания требуемой САУ.

Под адекватной модельной структурой здесь и далее понимается определенная модельная структура объекта управления, знание которой позволяет коллективу разработчиков в процессе проектирования САУ выдвинуть приемлемую гипотезу об адекватной математической модели объекта управления, причем процесс выдвижения этой гипотезы в количественном аспекте реализуется на основе выбора разработчиками конкретной математической модели из адекватной модельной структуры путем замены параметризующего параметра этой модельной структуры конкретным числовым значением.

Приемлемой гипотезой об адекватной математической модели объекта управления назовем определенную математическую модель, имеющую такой уровень функционального подобия моделируемому объекту управления, при котором коллектив разработчиков способен в процессе проектирования САУ создать опытный образец САУ, имеющий в опытной эксплуатации требуемые (согласно техническому заданию на проектирование) свойства.

Под приемлемой гипотезой об адекватной модельной структуре понимается определенная модельная структура объекта управления, знание которой позволяет коллективу разработчиков на предпроектных стадиях создания САУ выдвинуть приемлемую предпроектную гипотезу об адекватной математической модели объекта управления на основе выбора разработчиками конкретной математической модели из приемлемой гипотезы об адекватной модельной структуре путем замены параметризующего параметра этой модельной структуры конкретным числовым значением.

Приемлемой предпроектной гипотезой об адекватной математической модели назовем определенную математическую модель, имеющую такой уровень функционального подобия моделируемому объекту управления, при котором коллектив разработчиков на предпроектных стадиях создания САУ способен разработать макетный образец требуемой САУ, имеющий в опытной эксплуатации приемлемые для разработчиков статические и динамические свойства.

Для того чтобы структурная идентификация могла обладать указанными особыми свойствами, каждая её итерация должна содержать этап формирования набора конкретных модельных структур объекта управления. Каждая конкретная модельная структура должна так выбираться субъектом структурной идентификации, чтобы он мог её интерпретировать как семейство пробных гипотез для объяснения установленных фактов о выходных переменных объекта управления. Эта модельная структура также интерпретируется как рабочая гипотеза об АМС или, другими словами, как начальное приближение к АМС.

Объяснение имеющихся измерений, в частности, может состоять в том, что выбранная из конкретной модельной структуры и интерпретированная как её представитель конкретная математическая модель способна приемлемо определить значения измерений выходных переменных объекта по измерениям или известным значениям его входных переменных. Нахождение подобных семейств пробных гипотез, по мнению автора, является трудной интеллектуальной проблемой. Однако эта проблема только часть общих познавательных трудностей, каждый раз возникающих при формировании определенного набора.

В частности, отметим следующее. Модельная структура только тогда может быть полезна для проектирования САУ, если набор конкретных модельных структур содержит хотя бы одну адекватную модельную структуру. Это означает, что субъект структурной идентификации должен за сравнительно небольшое число итераций, ограниченное заданной длительностью предпроектных исследований, суметь выдвинуть очень хорошую (по достоверности, точности и существенности отражения) гипотезу об объекте управления. То, что такое событие возможно и имеет место в реальности, подтверждается практическими достижениями инженерной практики. Тем не менее, реализация этого события кажется удивительным явлением и воспринимается как проявление необъяснимого искусства, как наглядная демонстрация поразительной способности некоторых специалистов решать предельно трудные проблемы моделирования.

Наличие набора конкретных модельных структур позволяет субъекту последовательно реализовать этапы:

- Выбор представительного набора математических методов структурной идентификации.
- Разработка алгоритмов структурной идентификации на основе модификации общих алгоритмов для частных случаев, в которых известны свойства допустимых наборов модельных структур.
- Определение на основе применения алгоритмов структурной идентификации предпочтительных модельных структур объекта управления, которые в настоящей работе интерпретируются как наиболее предпочтительные гипотезы об адекватной модельной структуре.

Можно ли всегда получать адекватную модельную структуру в результате совместной реализации этих этапов, если набор конкретных модельных структур содержит хотя бы одну адекватную модельную структуру? Или, другими словами, может ли предпочтительная модельная структура, полученная в результате реализации этих трех этапов, всегда являться адекватной модельной структурой, если набор конкретных модельных структур содержит хотя бы одну адекватную модельную структуру? Ответ на эти вопросы очень важен для субъекта структурной идентификации. Отрицательный ответ, в частности, означает, что субъект в процессе структурной идентификации может выдвинуть очень хорошую рабочую гипотезу, но не сможет выбрать эту гипотезу в качестве

наиболее предпочтительной гипотезы об адекватной модельной структуре с помощью применяемого алгоритма структурной идентификации. Даже положительный ответ, который, по мнению автора, не соответствует действительности, не гарантирует субъекту отсутствие познавательных трудностей.

Что касается предпроектных стадиях создания САУ, то здесь, согласно разработанным модельным представлениям, впервые дается приемлемая предварительная оценка полезности применения предпочтительной модельной структуры для проектирования САУ с требуемыми свойствами. Для этого прежде всего требуется изготовить макетный образец САУ и осуществить его опытную эксплуатацию, которая, согласно развиваемым взглядам, не входит в состав структурной идентификации. Это означает, что у коллектива разработчиков в процессе структурной идентификации всегда отсутствуют средства, помогающие определить, можно или нет для проектирования САУ использовать выбранную предпочтительную модельную структуру. Ответ на этот вопрос субъект должен получить на предпроектных стадиях создания САУ до начала разработки технического задания на проектирование.

Возможны два подхода к построению предварительной оценки полезности выбранной предпочтительной модельной структуры. Согласно первому подходу, текущую итерацию структурной идентификации предлагается завершить сразу после получения предпочтительной модельной структуры. После этого следует провести исследование её полезности для проектирования САУ с требуемыми свойствами.

В процесс исследования предлагается включить этапы:

- Параметрическая идентификация.
- Синтез закона управления.
- Изготовление макетного образца регулятора САУ.
- Опытная эксплуатация макетного образца САУ.
- Анализ результатов опытной эксплуатации САУ, главной целью которого является сравнение экспериментально определенных статических и динамических характеристик объекта управления с заданными техническими характеристиками.
- Принятие решения о возможности (невозможности) использования предпочтительной модельной структуры для проектирования САУ с требуемыми свойствами.

Решение о невозможности использования считается достаточным основанием для организации новой итерации структурной идентификации, а противоположное решение – достаточным основанием для завершения структурной идентификации. Изложенный подход имеет существенный недостаток. Его реализация связана с изготовлением макетного образца регулятора САУ и проведением опытной эксплуатации для каждой предпочтительной модельной структуры. Как правило, указанные производственные процессы для своей реализации требуют определенных финансовых затрат, которые могут оказаться нежелательными.

Второй подход не имеет отмеченного недостатка, но требует дополнительной проверки различных гипотез. В основном это гипотезы о наличии приемлемого функционального подобия между объектом управления и хотя бы одной математической моделью, входящей в состав предпочтительной модельной структуры. Иными словами, идея состоит в том, что сначала предлагается проверить гипотезы о наличии у определенных математических моделей заданных базовых свойств. Именно тех свойств, наличие которых должно, в принципе, определять полезность этих моделей. И только после этого в зависимости от результатов проверки указанных гипотез рекомендуется: а) перейти к проверке гипотезы о возможности использования предпочтительной модельной структуры для проектирования САУ с требуемыми свойствами или б) организовать новую итерацию структурной идентификации. Согласно второму подходу, текущая итерация структурной идентификации продолжается после выбора предпочтительной модельной структуры. В основу организации новых этапов этой итерации положены следующие идеи:

- Идея о наличии определенных ключевых характеристик у полезной для проектирования модельной структуры.
- Идея о необходимости проверить гипотезы о наличии определенных ключевых характеристик для каждой предпочтительной модельной структуры.
- Идея об интерпретации результатов проверки гипотез как достаточных оснований для принятия решения о возможности (невозможности) перехода к этапу исследования полезности предпочтительной модельной структуры.

На рисунке 1 изображена предварительная блок-схема функциональной эталонной модели поведения субъекта поиска приемлемой гипотезы об адекватной модельной структуре объекта управления.

Решение о начале поиска приемлемой гипотезы об адекватной модельной структуре объекта управления (поиска приемлемой гипотезы об АМС)

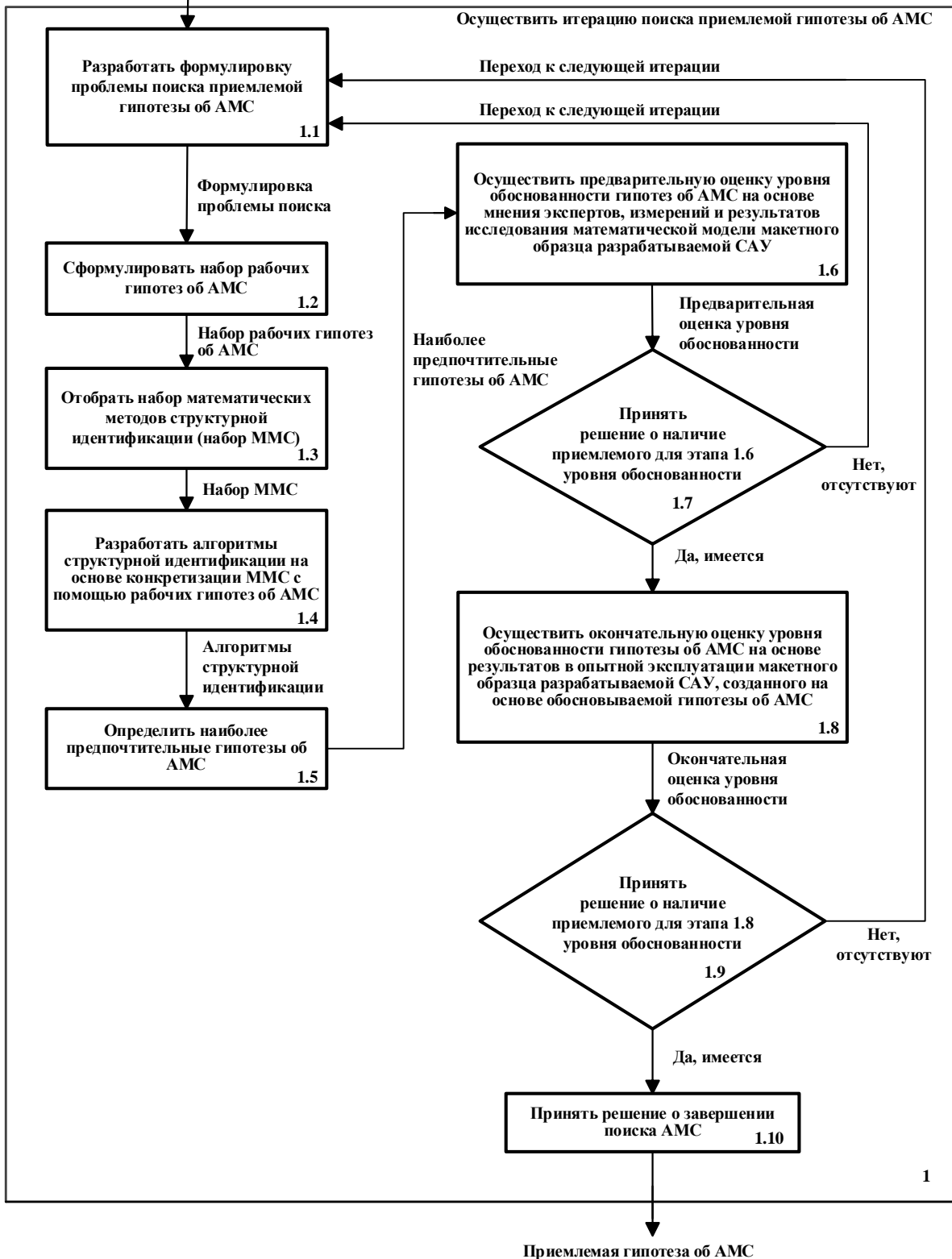


Рис. 1. Предварительная блок-схема функциональной эталонной модели поведения субъекта поиска приемлемой гипотезы об адекватной модельной структуре объекта управления

В соответствии с этими идеями предлагается текущую итерацию структурной идентификации дополнить этапами:

- Формирование и обоснование списка обязательных ключевых характеристик, которыми должна обладать предпочтительная модельная структура, рекомендуемая субъектом структурной идентификации для этапа исследования возможности её применения для проектирования САУ.

- Проверка гипотез о наличии обязательных ключевых характеристик для каждой предпочтительной модельной структуры.
- Принятие решения о возможности (невозможности) перехода к этапу исследования полезности предпочтительной модельной структуры.

В набор обязательных ключевых характеристик предпочтительной модельной структуры, в частности, предлагается включить такую характеристику как её локальное функциональное подобие объекту управления. Локальное функциональное подобие возникает между модельной структурой и объектом управления в ситуациях, когда в составе модельной структуры имеется приемлемое приближение зависимости выходных сигналов объекта от его входных сигналов.

3. Заключение

Представляется, что наиболее важным продолжением проведенных исследований является построение детализированной системно-функциональной эталонной модели поведения субъекта структурной идентификации объектов управления.

Литература

1. Гинсберг К.С. К вопросу о практическом использовании математических методов структурной идентификации в условиях априорной структурной неопределенности // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): труды Четырнадцатой междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2021. – С. 423–433.
2. Айвазян С.А. Прикладная статистика: исследование зависимостей / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
3. Ванник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
4. Гинсберг К.С. Новый подход к проблеме структурной идентификации. II // Автомат. и телемех. 2002. N 6. – С. 85–98.
5. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ: в 2 кн. / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика, 1988. Кн. 2. – 352 с.
6. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация: анализ информационных структур. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 176 с.
7. Кашьяп Р.Л. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным / Р.Л. Кашьяп, А.Р. Рао. – М.: Наука, 1983. – 383 с.
8. Лотоцкий В.А. Идентификация структур и параметров систем управления // Измерение, контроль, автоматизация. 1991. N 3-4. – С. 30–39.
9. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователей. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
10. Малолеткин Г.Н. Об алгоритмах выбора наилучшего подмножества признаков в регрессионном анализе / Г.Н. Малолеткин, Н.Н. Мельников, В.М. Ханин // Вопросы кибернетики. Теоретические проблемы планирования эксперимента (отсеивающие эксперименты): сб. статей. – М.: Советское радио, 1977. Вып. 35. – С. 110–144.
11. Перельман И.И. Оперативная идентификация объектов управления. – М.: Энергоиздат, 1982. – 272 с.
12. Перельман И.И. Методология выбора структуры модели при идентификации объектов управления // Автомат. и телемех. 1987. N 11. – С. 5–29.
13. Прангишвили И.В. 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. N 4. – С. 2–15.
14. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления. – М.: Наука, 1980. – 400 с.
15. Себер Д. Линейный регрессионный анализ. – М.: Мир, 1980. – 456 с.
16. Степашко В.С. Методы и критерии решения задач структурной идентификации / В.С. Степашко, Ю.А. Кочерга // Автоматика. 1985. N 5. – С. 29–37.
17. Эйкхофф П. Оценка параметров и структурная идентификация // Автоматика. 1987. N 6. – С. 21–38.
18. Eukhoff P. Identification theory: practical implications and limitations // Measurement. – 1984. – Vol. 2, N 2. – P. 75–85.
19. Hocking R.R. The analysis and selection of variables in linear regression // Biometrics. – 1976. – Vol. 32, N 1. – P. 1–49.
20. Hocking R.R. Developments in linear regression methodology: 1959–1982 // Technometrics. – 1983. – Vol. 25, N 3. – P. 219–230.
21. Гинсберг К.С. Прикладное применение математических методов структурной идентификации: формулировка проблемы и предварительное решение // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2022): труды Пятнадцатой междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2022. – С. 464–471.