

# Концептуальные основы методологии структурной идентификации для создания систем автоматического управления с требуемыми свойствами

К. С. Гинсберг

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Отмечаются существенные недостатки традиционного подхода к проблеме структурной идентификации технического объекта. Предлагается новый подход к ее исследованию. Раскрывается базисное содержание ключевых понятий и представлений методологии структурной идентификации. Приводится системно-функциональная эталонная модель поведения субъекта структурной идентификации. Указываются наиболее важные направления научных исследований для дальнейшего развития основ методологии структурной идентификации.

**Ключевые слова:** технический объект, математическое моделирование, идентификация систем, структурная идентификация, методология, понятия и представления, системно-функциональная эталонная модель.

DOI 10.14357/20718632190104

## Введение

В настоящее время отсутствует общепризнанное определение общего понятия о структурной идентификации технического объекта. Тем не менее, достаточно часто, начиная с 70-х годов XX века, под структурной идентификацией понимается выбор структуры параметрической математической модели технического объекта на основе обработки измерений его входных и выходных сигналов. Наравне с указанным определением используется и другое общее определение, не содержащее слова «структура»: структурная идентификация – выбор типа математической модели технического объекта на основе обработки измерений его входных и выходных сигналов. Указанные общие определения, задавая определенное

начальное представление о структурной идентификации, сыграли важную роль в разработке традиционных общих блок-схем этапов идентификации технических объектов. Однако эти определения ввиду своей предельной общности и многозначности составляющих их слов в настоящее время оказываются малополезными при разработке методов рациональной организации структурной идентификации в составе современной инженерной практики создания наукоемких технических систем.

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, в которых не изучаются отдельные виды структурной идентификации и не учитывается инженерный контекст их реализации, способны создавать математические методы только для осуществления самых общих функций структурных идентификаций. При таком общем подходе вне рамок научных исследований оказываются многие значимые для инженерной практики проблемы реальных или возможных структурных идентификаций. Тем не менее именно общий подход в последние 50 лет выступает в качестве доминирующей установки в научных исследованиях в области структурной идентификации технических объектов. На основе этого подхода, опираясь только на результаты математических исследований, эвристические идеи и общие принципы, сконструированы практически все имеющиеся методы 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 методов структурной идентификации практически полностью исчерпаны. Для формирования необходимого для инженерной практики научного знания предлагается новый подход к проблеме структурной идентификации. Его ключевые положения:

- изучение любого вида структурной идентификации на теоретическом уровне исследования необходимо осуществлять, рассматривая эту идентификацию как системный объект и обязательную компоненту инженерной практики создания реальных технических систем с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности;
- методы и средства рациональной организации конкретного вида структурной идентификации необходимо разрабатывать на основе учета особенностей порождающей этот вид инженерной практики и применения научных конкретизаций и детализаций общих положений системного, функционального и когнитивного подходов.

Основная цель работы – иллюстрация возможностей предлагаемого подхода для развития научных знаний о структурной идентификации для цели создания реальных систем автоматического управления (САУ) с требуемыми динамическими и статическими свойствами (кратко – реальных САУ с требуемыми свойствами). Ее содержание рассматривается как дальнейшее развитие идей, представлений и понятий публикаций [2-11].

## 1. Понятие о методологии структурной идентификации

Термин «методология структурной идентификации технических объектов для создания реальных САУ с требуемыми свойствами» употребляется в двух смыслах: узком и широком. Сокращениями этого термина считаются словосочетание «методология структурной идентификации» и слово «методология».

Под *методологией в узком смысле* понимается научно обоснованная детализированная системно-функциональная эталонная модель поведения коллектива разработчиков САУ в структурной идентификации для цели создания реальных САУ с требуемыми свойствами. *Эталонной моделью* называется модель для «подражания», которая представляет собой концептуальное описание эталона поведения коллективов разработчиков САУ в структурных идентификациях для различных технических объектов.

Под *методологией в широком смысле* понимается система научного знания о рациональной организации структурных идентификаций, состоящая из:

- 1) научно обоснованной детализированной системно-функциональной эталонной модели поведения коллектива разработчиков САУ в структурной идентификации;
- 2) научно обоснованной эталонной модели системного контекста структурной идентификации;
- 3) набора методов автоматизации основных функций коллектива разработчиков САУ в структурной идентификации.

Под *эталонной моделью системного контекста* структурной идентификации понимается концептуальное описание эталона рациональной организации системного контекста структурной

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

Основное назначение методологии структурной идентификации – обеспечить профессионально подготовленные коллективы разработчиков САУ такими концептуальными и математическими средствами информационной поддержки, используя которые разработчики САУ могут рационально организовать процесс порождения и первичной проверки гипотез об адекватной модельной структуре произвольного технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности.

Под *модельной структурой* понимается 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. *Адекватной модельной структурой* называется модельная структура, на основе которой коллектив разработчиков в процессе научно организованной параметрической идентификации может построить адекватную математическую модель технического объекта для цели синтеза закона управления этим объектом. Под *адекватной математической моделью* технического объекта понимается 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.

## 2. Понятие об априорной структурной неопределенности

Под *априорной структурной неопределенностью* в знании коллектива разработчиков о техническом объекте понимается:

1) отсутствие у разработчиков в момент принятия решения о начале процесса автоматизации объекта достоверного знания об адекватной модельной структуре технического объекта;

2) наличие у разработчиков убеждения, что достоверное знание об адекватной модельной структуре технического нельзя получить только на основе открытых фундаментальных законов естествознания и известных в науке и инженерной практике эмпирических законов и закономерностей.

В условиях априорной структурной неопределенности субъект структурной идентификации руководствуется в первую очередь *общими познавательными установками*, т.е. своей внутренней устойчивой предрасположенностью, основанной на прошлом опыте, определенным образом исследовать объекты автоматизации. Перечислим некоторые из них.

1) *Установка на применение системного подхода*. Применение системного подхода к процессу решения проблемы структурной идентификации есть необходимое условие ее решения.

Структурная идентификация является частью 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 в форме гипотезы об адекватной модельной структуре, имеющей достаточное подтверждение, 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.

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 процесса отыскания адекватной математической модели технического объекта.

Полагается, что в условиях априорной структурной неопределенности необходимо выбрать гипотетико-дедуктивный метод познания в качестве базисной методологической основы процесса отыскания адекватной математической модели технического объекта, т.е. поиск адекватной математической модели следует осуществлять как реализацию положений гипотетико-дедуктивного метода познания применительно к инженерной практике создания САУ. Структурная идентификация в этом случае, образно говоря, в основном выполняет функцию «генератора» гипотез об адекватной модельной структуре, а ее системное окружение осуществляет функцию «испытательного полигона» для комплексной проверки этих гипотез.

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

Коллектив разработчиков при отсутствии 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 порождения и первичной проверки гипотез об адекватной модельной структуре. Полагается, что необходимо сначала пытаться 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 об объекте автоматизации. Поэтому организация и осуществление структурной идентификации становятся возможными только в результате целенаправленной и организующей деятельности коллектива разработчиков.

5) **Установка на порождение гипотез.** Основное назначение текущей итерации структурной идентификации – порождение и первичная проверка гипотез об адекватной модельной структуре, которые, предположительно, могут содержать точное математическое описание адекватной модельной структуры. **Окончательная проверка** выдвинутых гипотез с обязательным проведением прямого измерения значения их практической эффективности реализуется в системном окружении структурной идентификации. **Первичная проверка** выдвинутых гипотез с обязательным определением экспертной оценки значения их практической эффективности реализуется непосредственно в процессе текущей итерации структурной идентификации.

Под **практической эффективностью гипотезы** об адекватной модельной структуре понимается степень выполнения требований заказчика к динамическим и статическим свойствам проектируемой САУ для ее пробного варианта, разработанного с использованием этой гипотезы, которая при создании пробного варианта предполагается верной. Полагается, что в

условиях априорной структурной неопределенности необходимо придерживаться точки зрения, что по результатам текущей итерации структурной идентификации невозможно вычислить значение практической эффективности гипотезы об адекватной модельной структуре, сформулированной на этой итерации. Поэтому расчет значения практической эффективности следует заменить организацией экспертного оценивания этого значения.

6) **Установка на проведение пробной эксплуатации.** Прямое измерение значения практической эффективности гипотезы об адекватной модельной структуре можно осуществить только по результатам пробной эксплуатации пробного варианта проектируемой САУ, разработанного с использованием этой гипотезы, которая при создании пробного варианта предполагается верной.

7) **Установка на комплексную проверку.** Проверка в системном окружении структурной идентификации гипотез об адекватной модельной структуре во всех аспектах их практического и теоретического применения является необходимым условием осуществления структурной идентификации.

### 3. Понятие о рациональном поведении субъекта структурной идентификации

Поведение субъекта структурной идентификации считается рациональным, если оно соответствует требованиям общепринятой системно-функциональной эталонной модели поведения субъекта в структурной идентификации. Системно-функциональная эталонная модель поведения субъекта, представленная в настоящем разделе, 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 и его познавательной активности, системности и целенаправленности процессов структурной идентификации. Далее изложены основные положения этой модели.

Под **рациональной структурной идентификацией** понимается итерационный процесс порождения и первичной проверки гипотез об

адекватной модельной структуре технического объекта на основе анализа и синтеза знаний и эмпирических данных об этом объекте, целью которого является выдвижение гипотез, содержащих точное математическое описание адекватной модельной структуры.

Потребность в структурной идентификации возникает в том случае, если принято решение о начале процесса автоматизации технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности. Полагается, что отсутствие достоверного знания об адекватной модельной структуре возникает в результате слабой модельной изученности технического объекта как объекта управления. Любая структурная идентификация для цели создания реальной САУ с требуемыми свойствами должна обладать тремя ключевыми свойствами:

1) субъектом структурной идентификации должен быть 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;

2) структурная идентификация является обязательной компонентой инженерной практики создания реальной САУ с требуемыми свойствами в условиях априорной структурной неопределенности;

3) 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.

**Рациональное поведение** субъекта структурной идентификации представляет собой итерационный процесс, каждая итерация которого состоит из четырех стадий:

1) содержательная постановка проблемы отыскания адекватной модельной структуры технического объекта;

2) определение наиболее предпочтительных (с точки зрения определенных показателей) гипотез об адекватной модельной структуре;

3) экспертное оценивание и анализ наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре;

4) принятие решения о переходе к следующей итерации поведения субъекта или решения о начале комплексной 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. Под проблемой отыскания адекватной модельной структуры понимается система знаний, которая состоит из **условий** и **требований**. **Условия** содержат все знания субъекта о структурной идентификации и ее системном окружении. **Требования** содержат все знания субъекта о желательном, приемлемом и предполагаемом решении **проблемы**.

**Желательным решением проблемы** считается адекватная модельная структура технического объекта. Желательное решение **проблемы** рассматривается субъектом в качестве желательного результата процесса решения **проблемы**. Под **процессом решения проблемы** понимается итерационный процесс, который состоит из рациональной структурной идентификации и комплексной проверки гипотез об адекватной модельной структуре в системном окружении рациональной структурной идентификации, целью которого является отыскание точного математического описания адекватной модельной структуры.

**Приемлемым решением проблемы** называется наиболее предпочтительная гипотеза, имеющая по результатам ее испытаний в системном окружении рациональной структурной идентификации достаточное, с точки зрения разработчиков, подтверждение для начала ее практического применения. Под **практическим применением** понимается, как минимум, использование наиболее предпочтительной гипотезы, предполагаемой верной, для разработки окончательного варианта технического задания на создание САУ. Особенно значимыми и необходимыми являются подтверждения, полученные в пробной эксплуатации пробного

варианта САУ, разработанного на основе использования проверяемой гипотезы, которая при создании пробного варианта предполагается верной. Приемлемое решение **проблемы** рассматривается субъектом в качестве окончательного результата процесса решения **проблемы**, при наличии которого субъект принимает решение о завершении структурной идентификации. Относительно приемлемого решения всегда предполагается с высокой степенью уверенности, что это решение содержит точное математическое описание адекватной модельной структуры.

**Предполагаемым решением проблемы** называется наиболее предпочтительная гипотеза, имеющая по результатам ее первичной проверки на третьей стадии текущей итерации значимое, с точки зрения разработчиков, подтверждение, которое недостаточно для начала практического применения этой гипотезы. Наличие значимого подтверждения, указывающего на практическую перспективность гипотезы, является веским основанием для организации ее дополнительных испытаний в системном окружении рациональной структурной идентификации с целью оценки полезности ее использования в качестве приемлемого решения **проблемы**. В качестве окончательного результата текущей итерации структурной идентификации могут быть: одно или несколько предполагаемых решений **проблемы** и программа их комплексной проверки или предписание о переходе к следующей итерации рациональной структурной идентификации. Предполагаемое решение проблемы, которое содержит точное математическое описание адекватной модельной структуры, интерпретируется в качестве желательного результата текущей итерации.

**Вторая стадия итерации** – определение наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре. Эта стадия состоит из четырех этапов:

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.

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 субъектом на основе имеющихся у него знаний и эмпирических данных о техническом объекте, включающих результаты проведенных испытаний ранее выдвинутых и отклоненных наиболее предпочтительных гипотез.

**Наиболее предпочтительной гипотезой** считается рабочая гипотеза, которая обеспечивает наибольшее (для заданного набора рабочих гипотез) значение выбранного коллективом разработчиков эмпирического показателя функционального подобия между моделируемым техническим объектом и моделью-представителем произвольной модельной структуры технического объекта. Под **моделью-представителем** определенной модельной структуры понимается математическая модель технического объекта, которая содержится в этой модельной структуре и интерпретируется субъектом в качестве кандидата на роль адекватной математической модели технического объекта.

**Эмпирический показатель** функционального подобия желательно выбрать таким образом, чтобы его значение для каждой модельной структуры технического объекта как можно лучше соответствовало реальному уровню согласия между выходными сигналами объекта и расчетными значениями этих сигналов, которые могут быть получены с помощью модели-представителя данной модельной структуры. Полагается, что методы выбора наиболее предпочтительной гипотезы в основном будут от-

личаться использованием разных эмпирических показателей, характеризующих функциональное подобие между моделируемым техническим объектом и моделью-представителем произвольной модельной структуры технического объекта.

**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.

Полагается, что возможность появления верной гипотезы может быть существенно увеличена путем формирования набора рабочих гипотез с учетом результатов испытаний наиболее предпочтительных гипотез в системном окружении структурной идентификации. Поэтому актуальным направлением методологии структурной идентификации является разработка методов формирования наборов рабочих гипотез с учетом результатов уже проведенных испытаний наиболее предпочтительных гипотез.

**Цель третьего и четвертого этапов второй стадии** – выбор верной гипотезы из имеющегося набора рабочих гипотез в случае, если этот набор содержит верную гипотезу.

Особенность этой поставленной цели состоит в том, что субъект по результатам текущей итерации структурной идентификации не в состоянии определить, является ли выбранная на этой итерации наиболее предпочтительная гипотеза верной или нет. Только после ее комплексной проверки в системном окружении появляется возможность (есть шанс) интерпретировать проверяемую гипотезу как верную гипотезу или отклонить как ложную. Тем не менее, полагается, что поставленная цель может быть достигнута, если выбор наиболее предпочтительной гипотезы будет осуществляться на основе точного знания значений функционального подобия (между моделируемым техническим объектом и моделью-представителем произвольной модельной структуры технического объекта) для всех модельных структур, содержащихся в рабочих гипотезах заданного набора. Так как в реальности такое знание недостижимо, то качество выбора

наиболее предпочтительной гипотезы будет зависеть от погрешности, с которой выбранный эмпирический показатель функционального подобия оценивает неизвестные значения этого функционального подобия. Поэтому актуальным направлением методологии является разработка научно обоснованных эмпирических показателей функционального подобия между моделируемым техническим объектом и моделью-представителем произвольной модельной структуры технического объекта.

**Третья стадия итерации** – экспертное оценивание и анализ наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре. Эта стадия состоит из трех этапов:

1) экспертная оценка значений функционального подобия между моделируемым техническим объектом и моделью-представителем каждой модельной структуры, содержащейся в проверяемых наиболее предпочтительных гипотезах;

2) экспертный анализ эмпирических и теоретических оснований для выдвижения гипотезы об адекватной математической модели технического объекта;

3) экспертная оценка значений практической эффективности проверяемых наиболее предпочтительных гипотез.

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

Предполагаемое решение **проблемы**, которое по результатам испытаний в системном окружении структурной идентификации не может быть интерпретировано в качестве приемлемого решения, считается не соответствующей требованиям решаемой **проблемы**. В этом случае принимается решение о начале следующей итерации рациональной структурной идентификации, в которой на первой стадии снова осуществляется содержательная постановка новой проблемы отыскания адекватной модельной структуры. Аналогичное решение принимается и в том случае, когда все наиболее предпочтительные гипотезы по результатам первичной проверки на третьей ста-

дии текущей итерации не могут быть интерпретированы как предполагаемое решение. Процесс содержательной постановки новой **проблемы**, определение наиболее предпочтительных гипотез и их испытания в системном окружении рациональной структурной идентификации продолжаются до тех пор, пока не будет найдена гипотеза, которая имеет достаточное подтверждение для начала ее практического использования, т.е. не будет найдено приемлемое решение **проблемы**.

Полагается, что структура итерационного процесса рациональной структурной идентификации полностью определяется поведением ее субъекта, т.е. эта структура идентична структуре итерационного процесса поведения субъекта в рациональной структурной идентификации. Дальнейшее развитие разработанной системно-функциональной эталонной модели до уровня методологии в узком смысле осуществляется на основе ее конкретизации и детализации, научного и эмпирического обоснования новых эталонных моделей поведения коллективов разработчиков.

При разработке модели поведения, изображенной на Рис. 1, использовались дополнительно следующие сокращения: АМС – адекватная модельная структура технического объекта; СТИ – структурная идентификация; проблема АМС – проблема отыскания адекватной модельной структуры технического объекта; пробный вариант САУ – система автоматического управления, которая состоит из автоматизируемого технического объекта, системы измерения входных и выходных сигналов объекта и макета регулятора проектируемой САУ; пробная эксплуатация – производственные испытания пробного варианта 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;

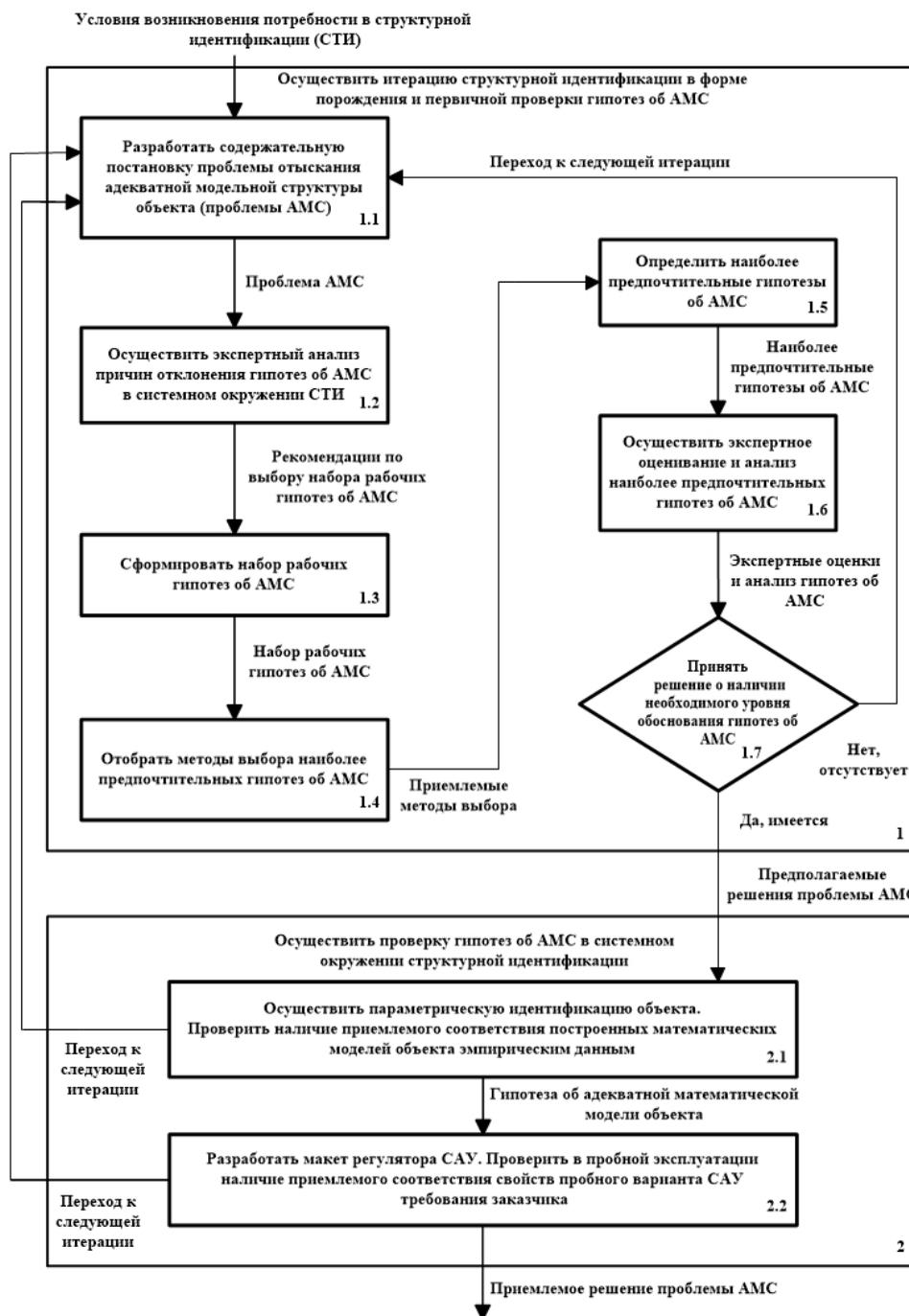


Рис. 1. Системно-функциональная эталонная графическая модель поведения субъекта рациональной структурной идентификации технического объекта

2) разработка научно обоснованной детализированной системно-функциональной модели поведения коллектива разработчиков в структурной идентификации;

3) разработка, исследование и прикладная интерпретация методов выбора наиболее предпочтительной модельной структуры из задан-

ного набора модельных структур технического объекта;

4) разработка методологии численных исследований 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.

Основным результатом настоящей работы считается существенное развитие по сравнению с публикациями [8, 11] представлений о рациональном поведении субъекта структурной идентификации и его внутренних общих познавательных установках. Это развитие выражается в формулировке нового подхода к исследованию общей проблемы структурной идентификации, в разработке новых или уточненных определений ключевых понятий методологии структурной идентификации, в формулировке познавательных установок субъекта, в изменении содержания некоторых этапов системно-функциональной эталонной модели поведения субъекта, в уточнении назначения и смысла каждой стадии поведения субъекта, в создании системно-функциональной эталонной графической модели поведения субъекта, в ука-

зании актуальных направлений развития методологии структурной идентификации.

## Литература

1. Гинсберг К.С. Концепция научного проектирования инженерного моделирования для слабо изученных объектов управления: новый подход к проблемам структурной идентификации [Электронный ресурс] // Труды IX Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '12. М.: ИПУ РАН, 2012. 1 CD-ROM. С. 802-828.
2. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М.: Энергия, 1975. 376 с.
3. Анисимов С.А. и др. Основы управления технологическими процессами / под ред. Н.С. Райбмана. М.: Наука, 1978. 440 с.
4. Ротач В.Я. и др. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоатомиздат, 1984. 272 с.
5. 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.
6. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Пер. с англ. – М.: Наука, 1991. 432 с. (Ljung L. System Identification: Theory the User. – New Jersey: Prentice Hall, 1987. 519 p.).
7. Прангишвили И.В., Логоцкий В.А., Гинсберг К.С., Смолянинов В.В. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным системным методологиям // Проблемы управления. 2004. № 4. С. 2-15.
8. Гинсберг К.С. К проблеме разработки методологии структурной идентификации для проектирования систем автоматического управления // Информационные технологии и вычислительные системы. 2016. / № 4. С. 44-52.
9. Салихов З.Г., Гинсберг К.С. Исследование эволюции в области идентификации математических моделей металлургических процессов при создании реальных систем автоматического управления // Цветные металлы. 2016. № 11. С. 105–112. DOI: 10.17580/tsm.2016.11.11.
10. 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. DOI 10.23859/1994-0637-2017-6-81-2.
11. Гинсберг К.С. Актуальные проблемы разработки научной методологии структурной идентификации и ее математического обеспечения // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 4. С. 43-51.

**Гинсберг Константин Симонович.** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва. Старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 126 (в т.ч. 1 монография). Область научных интересов: математическое моделирование, идентификация систем, теория автоматического управления, системный анализ, методология научного исследования, методология практической деятельности, информационные технологии. E-mail: ginsberg@mail.ru

## The structure identification methodology conceptual basis for the purpose of creating automatic control systems with the required properties

K. S. Ginsberg

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

**Abstract.** Significant drawbacks of the traditional approach to the problem of structure identification of a technical object are marked. A new approach to its research is proposed. The basic content of key notions and representations of the methodology of structure identification is revealed. The system-functional reference model of behavior of the subject of structure identification is given. The most important directions of scientific research for the further development of the structure identification methodology foundations are indicated.

**Keywords:** technical object, mathematical modeling, system identification, structure identification, methodology, notions and representations, system-functional reference model.

**DOI** 10.14357/20718632190104

### References

- Ginsberg, K.S. 2012. Konceptija nauchnogo proektirovaniya inzhenerenogo modelirovaniya dlja slabo izuchennyh ob#ektov upravlenija: novyj podhod k problemam strukturnoj identifikacii [A conception of scientific design of engineering modeling for mildly studied control plants: a new approach to structure identification problems]. Trudy IX Mezhdunarodnoj konferencii "Identifikacija sistem i zadachi upravlenija" SICPRO '12 [IXth Conference (International) "System Identification and Control Problems" SICPRO '12 Proceedings]. Moscow. 1 CD-ROM. 802–828.
- Rajbman, N.S., and V.M Chadeev. 1975. Postroenie modelej processov proizvodstva [Models construction of production processes]. Moscow: Energy Publs. 376 p.
- Anisimov, S.A., V.N. Dyn'kin, A.D. Kasavin, V.A. Lotockij, N.S. Rajbman, and V.M. Chadeev. 1978. Osnovy upravlenija tehnologicheskimi processami [Bases of control of technological processes]. Moscow: Science Publs. 440 p.
- Rotach, V.Ja., V.F. Kuzishhin, A.S. Kljuev, S.I. Lejkin, and V.K. Jarygin. 1984. Avtomatizacija nastrojki sistem upravlenija [Automation of adjustment of control systems]. Moscow: Jenergoatomizdat Publs. 272 p.
- Eykhoff, P. 1984. Identification Theory: Practical Implications and Limitations. Proceeding of the 4th IMEKO Symposium on Measurement and Estimation. Bressanone (Brixen). VI–XVI.
- Ljung, L. 1987. System Identification: Theory the User. N. J.: Prentice Hall. 519 p.
- Prangishvili, I.V., V.A. Lotockij, K.S. Ginsberg, and V.V. Smoljaninov. 2004. Identifikacija sistem i zadachi upravlenija: na puti k sovremennym sistemnym metodologijam [System identification and control problems: on the way to modern system methodologies]. Problemy upravlenija [Sontrol Sciences] 4:2–15.
- Ginsberg, K.S. 2016. K probleme razrabotki metodologii strukturnoj identifikacii dlja proektirovaniya sistem avtomaticheskogo upravlenija [To the problem of development of methodology of structure identification for designing of automatic control systems]. Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy [Information Technologies and Computing Systems] 4:44–52.
- Salikhov Z.G., Ginsberg K.S. 2016. Issledovanie evolyutsii v oblasti identifikatsii mate-maticheskikh modeley metallurgicheskikh protsessov pri sozdanii realnykh sistem avtomati-cheskogo upravlenija [Investigation into the evolution of identification of metallurgical process mathematical models when creating real automatic control systems]. Tsvetnye metally [Non-ferrous metals] 11:105–112. doi:10.17580/tsm.2016.11.11.
- Genkin A.L., Ginsberg K.S. 2017. K probleme strukturnoy identifikatsii dlya tseli sozda-niya realnoy sistemy avtomaticheskogo upravlenija s trebuemymi svoystvami [To the problem of structure identification for the purpose of creation real automatic control system with required properties]. Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta [Cherepovets State University Bulletin] 81(6):19–24. doi:10.23859/1994-0637-2017-6-81-2.
- Ginsberg K.S. 2017. Aktualnye problemy razrabotki nauchnoy metodologii strukturnoy identifikatsii i ee matematicheskogo obespecheniya [Topical issues on structure identification scientific methodology development and its mathematical support]. Informatsionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy [Information Technologies and Computing Systems] 4:43–51.

**Ginsberg Konstantin Simonovich.** PhD in Technical Sciences, Associate Professor, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya street, Moscow, 117997, Russia. E-mail:ginsberg@mail.ru