

# К проблеме разработки системы междисциплинарных понятий научной методологии структурной идентификации для цели проектирования реальных систем автоматического управления с требуемыми свойствами

*К.С. Гинсберг,  
с.н.с., к.т.н., доц., ginsberg@mail.ru  
ИПУ РАН, г. Москва*

Представлены результаты поисковых исследований по разработке базисного содержания ключевых понятий научной методологии структурной идентификации для цели проектирования реальных систем автоматического управления с требуемыми свойствами.

Results of basic researches on development of the basic contents of key concepts of scientific methodology of structure identification for the purpose of designing of real automatic control systems with required properties are presented.

## Введение

Настоящая работа является продолжением доклада К.С. Гинсберга «Постановка и подход к проблеме научной методологии структурной идентификации для цели проектирования реальных систем автоматического управления с требуемыми свойствами», также представленного на 17 международной научно-практической конференции CAD/CAM/PDM – 2017. В названии доклада термином «реальная система автоматического управления (САУ) с требуемыми свойствами» обозначена реальная САУ, удовлетворяющая требованиям Заказчика САУ.

Согласно ключевой гипотезе первого доклада, любая структурная идентификация для цели проектирования реальной САУ с требуемыми свойствами, которую имеет смысл организовывать в рамках современной инженерной практики создания САУ, должна обладать тремя существенными свойствами:

- 1) субъектом структурной идентификации должен быть коллектив разработчиков САУ, который осуществляет практического познания технического объекта как объекта управления, нацелен на построение его адекватной модельной структуры и мотивирован на создание реальной САУ с требуемыми свойствами;
- 2) структурную идентификацию нельзя вычленивать из всей инженерной практики создания реальной САУ и рассматривать независимо, не потеряв при этом существенных для ее функционирования связей;
- 3) структурная идентификация является обязательной компонентой инженерной практики создания реальной САУ в условиях априорной структурной неопределенности.

Изложенная точка зрения до сих пор крайне редко встречается в научных исследованиях по структурной идентификации технических объектов. И для этого есть веские основания. Во-первых, принятие этой точки зрения в научном исследовании существенно усложняет мысленный образ структурной идентификации, который исследователь осознает, как изображение идентификации «как она есть, или должна быть на самом деле» в рамках инженерной практики создания реальной САУ. Структурная идентификация в этом случае осознается исследователем как познавательный процесс, в котором человеческая деятельность субъекта познания связана с решением междисциплинарных проблем интерпретации, выбора и практического применения концептуальных, математических и технических средств, оценки практической значимости и полезности результатов, полученных с помощью этих средств.

Во-вторых, реализация указанного взгляда связана с необходимостью научного описания структурной идентификации как коллективной познавательной деятельности разработчиков САУ, которые оперируют специальными концептуальными, математическими и техническими средствами. Эти средства необходимо интерпретировать как результат формализации в науке и практике содержательного знания о познавательных функциях разработчиков, и как средства автоматизации этих функций.

Подобное научное описание невозможно без использования междисциплинарных понятий, комплексно отражающих основные аспекты структурной идентификации, которые могут быть изучены традиционными научными дисциплинами. По мнению автора, содержательной основой для определения междисциплинарных понятий научной методологии являются понятийные аппараты таких традиционных научных дисциплин, как: системный анализ, когнитивная наука, математическое моделирование, идентификация систем, теория автоматического управления, квалиметрия моделей и полимодельных комплексов, теория активных систем, автоматизированное проектирование, планирование промышленных экспериментов.

В докладе представлены результаты поисковых исследований по разработке базисного содержания ключевых понятий научной методологии структурной идентификации для цели проектирования САУ с требуемыми свойствами.

## 1. Ключевые понятия научной методологии

Ключевые понятия научной методологии по основным характеристикам своего содержания являются междисциплинарными понятиями. Ключевые понятия в силу своего определения отражают на теоретическом уровне исследования существенные свойства различных процессов и объектов структурной идентификации и ее системного контекста, объединенных в реальную систему конечной целью инженерной практики создания САУ с требуемыми свойствами. Поэтому представительный набор ключевых понятий на теоретическом уровне исследования также образует определенную систему. Конечно, только в том случае, когда содержание сконструированных понятий адекватно отражает существенные свойства моделируемых процессов и объектов.

## 1.1. Понятие о научной методологии структурной идентификации

Термин «научная методология структурной идентификации технических объектов для цели проектирования реальной САУ с требуемыми свойствами» употребляется в двух смыслах: узком и широком. Сокращениями этого термина считаются словосочетания «научная методология структурной идентификации», «научная методология».

**Научная методология в узком смысле.** Под научной методологией в узком смысле понимается научно и экспериментально обоснованную детализированную системно-функциональную эталонную модель поведения субъекта структурной идентификации для цели проектирования САУ с требуемыми свойствами.

**Понятие об эталонной модели.** Эталонной моделью называется модель «для подражания», которая содержит описание эталона поведения для субъекта структурной идентификации. В качестве эталона считаются модели реального или возможного поведения высокопрофессиональных коллективов разработчиков САУ в процессе структурной идентификации для цели проектирования САУ с требуемыми свойствами.

**Научная методология в широком смысле.** Под научной методологией в широком смысле понимается система знания об организации структурной идентификации для цели проектирования САУ с требуемыми свойствами, состоящая из следующих компонент:

- 1) детализированной системно-функциональной эталонной модели поведения субъекта структурной идентификации;
- 2) вербально-графической модели системного контекста структурной идентификации;
- 3) описания источников данных и знаний, с которыми субъект непосредственно или опосредованно взаимодействует в процессе подготовки и реализации структурной идентификации; в частности это описание должно включать концептуальную модель объекта автоматизации, идеи, методы, модели и алгоритмы разработанного математического обеспечения структурной идентификации;
- 4) описания на понятийном уровне содержания существенных взаимодействий субъекта, системного контекста, технических и программных средств информационной поддержки, источников данных и знаний в процессе структурной идентификации.

**Развитие научной методологии.** Развитие научной методологии осуществляется главным образом путем детализации и совершенствования системно-функциональной эталонной модели поведения субъекта структурной идентификации. Этот процесс организуется в виде итерационной процедуры, каждая итерация которой состоит из пяти этапов:

- 1) построение базовой эталонной модели;
- 2) анализ базовой модели: выделение функций коллектива разработчиков САУ, которые можно частично или полностью автоматизировать; разделение функций на подфункции, часть из которых можно полностью автоматизировать;
- 3) создание концептуальных, математических, программных и технических средств для реализации или информационной поддержки выделенных функций коллектива разработчиков САУ;
- 4) построение новой эталонной модели, учитывающей включение в деятельность разработчиков САУ новых автоматических и концептуальных средств;
- 5) анализ новой модели; принятие решения о переходе к следующей итерации или о завершении итерационной процедуры.

**Назначение научной методологии.** Основное назначение научной методологии – обеспечить профессионально подготовленные коллективы разработчиков САУ такими концептуальными средствами информационной поддержки, используя которые они могут рационально организовать процесс построения адекватной модельной структуры реального технического объекта в условиях априорной структурной неопределенности или, другими словами, могут разработать рациональный проект структурной идентификации.

**Научная методология и проектирование.** Научная методология – это система научных методов проектирования структурной идентификации в процессе инженерной практики создания реальных САУ с требуемыми свойствами.

**Понятие о модельной структуре.** Под модельной структурой понимается семейство математических моделей технического объекта для цели создания САУ с требуемыми свойствами, параметризованное скалярным или векторным параметром с заданным множеством допустимых значений в евклидовом пространстве. Все параметры этого семейства выбраны таким образом, что их эмпирические значения можно определить на основе традиционных методов параметрической идентификации.

**Понятие об адекватной модельной структуре.** Адекватной модельной структурой называется модельная структура, на основе которой коллектив разработчиков в процессе параметрической идентификации (нацеленной на выполнение требований Заказчика САУ) может определить адекватную модель технического объекта.

**Понятие об адекватной модели технического объекта.** Под адекватной моделью технического объекта понимается математическая модель, имеющая такой уровень функционального подобия моделируемому объекту, при котором на ее основе можно создать САУ с требуемыми свойствами.

## 1.2. Понятие о существенных свойствах структурных идентификаций

**Ключевая гипотеза.** Любая структурная идентификация для цели проектирования реальной САУ с требуемыми свойствами, которую имеет смысл организовывать в рамках современной инженерной практики создания САУ, должна обладать тремя существенными 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) структурную идентификацию нельзя вычлнить из всей инженерной практики создания реальной САУ и рассматривать независимо, не потеряв при этом существенных для ее функционирования связей;
- 3) структурная идентификация является обязательной компонентой инженерной практики создания реальной САУ в условиях априорной структурной неопределенности.

Термин «практическое познание технического объекта» употребляется в значении «познание технического объекта в процессе инженерной практики создания реальной САУ». Познание осуществляется не ради отыскания адек-

ватной модельной структуры или адекватной модели технического объекта, а для эффективного проектирования коллективом разработчиков реальной САУ с требуемыми свойствами.

**Ключевая гипотеза и проектирование.** Предположения ключевой гипотезы используются в качестве базовых положений разрабатываемого рационального проекта структурной идентификации.

**Ключевая гипотеза и научные исследования.** Ключевая гипотеза о существенных свойствах структурных идентификаций рассматривается как основная гипотеза исследований по разработке научной методологии.

### 1.3. Понятие об условиях возникновения потребности в структурной идентификации

Решение о начале процесса структурной идентификации принимается в том случае, если у коллектива разработчиков:

- отсутствует достоверное априорное знание об адекватной модельной структуре технического объекта, т. е. имеет место структурная неопределенность в априорном знании об объекте автоматизации;
- имеется набор рабочих гипотез об адекватной модельной структуре технического объекта; 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

Наличие структурной неопределенности в априорном знании интерпретируется как результат слабой модельной изученностью объекта автоматизации как объекта управления

### 1.4. Понятие об априорной структурной неопределенности

Под априорной структурной неопределенностью понимается отсутствие у коллектива разработчиков САУ достоверного априорного знания об адекватной модельной структуре технического объекта в момент принятия решения о начале процесса его автоматизации.

**Гипотеза о методе перехода от априорной структурной неопределенности к параметрической неопределенности.** Предполагается, что в условиях априорной структурной неопределенности высокопрофессиональные коллективы разработчиков САУ считают, что переход от априорной структурной неопределенности к параметрической неопределенности в знании адекватной математической модели технического объекта следует осуществить в результате проведения структурной идентификации.

В условиях априорной структурной неопределенности коллектив разработчиков имеет две возможности. Во-первых, он может организовать структурную идентификацию для построения адекватной модельной структуры технического объекта. Во-вторых, он может попытаться получить данную модельную структуру на основе только открытых фундаментальных законов естествознания и известных в науке и инженерной практике эмпирических законов и закономерностей. Полагается, что разработчики выбирают первую возможность.

**Гипотеза о субъекте структурной идентификации.** Предполагается, что в условиях априорной структурной неопределенности коллектив разработчиков САУ должен выполнять функции субъекта построения адекватной модельной структуры технического объекта.

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 становится возможным только в результате целенаправленной деятельности коллектива разработчиков САУ.

**Гипотеза о гипотетико-дедуктивном методе познания.** Предполагается, что в условиях априорной структурной неопределенности высокопрофессиональные коллективы разработчиков САУ выберут гипотетико-дедуктивный метод познания в качестве базисной методологической основы отыскания адекватной математической модели технического объекта, т.е. поиск адекватной модели организуется как реализация положений гипотетико-дедуктивного метода познания применительно к инженерной практике создания САУ.

Структурная идентификация, образно говоря, выполняет функцию «генератора» гипотез об адекватной модельной структуре, а ее системный контекст осуществляет функцию «испытательного полигона» для испытания гипотез и экспертной оценки их теоретической и практической обоснованности.

**Гипотеза о теоретических возможностях структурной идентификации.** Предполагается, что в условиях априорной структурной неопределенности высокопрофессиональные коллективы разработчиков САУ придерживаются точки зрения, что в составе структурной идентификации отсутствуют знания, данные и средства, позволяющие теоретически рассчитать значение практической эффективности выбранной пробной модельной структуры технического объекта.

Поэтому теоретический расчет значения практической эффективности заменяется вычислением ее косвенного показателя, т.е. показателя функционального соответствия модельной структуры и моделируемого технического объекта.

**Понятие о практической эффективности модельной структуры.** Под практической эффективностью модельной структуры понимается способность этой модельной структуры обеспечить определенный уровень выполнения требований Заказчика САУ в случае ее использования для синтеза регулятора проектируемой САУ.

Приведенные четыре гипотезы используются в качестве базовых положений разрабатываемого рационального проекта структурной идентификации.

### 1.5. Понятие о рациональной структурной идентификации

**Понятие о структурной идентификации технического объекта. Определения понятия:**

- 1) структурная идентификация технического объекта – процесс выбора структуры параметрической математической модели технического объекта на основе анализа и обработки измерений его входных и выходных сигналов, конечной целью которого является формирование исходных данных для параметрической идентификации этого объекта;
- 2) структурная идентификация технического объекта – процесс выбора типа математической модели технического объекта на основе анализа и обработки измерений его входных и выходных сигналов, конечной целью которого является формирование исходных данных для параметрической идентификации этого объекта.

**Понятие о рациональной структурной идентификации. Краткое определение.** Под рациональной структурной идентификацией технического объекта для цели проектирования САУ с требуемыми свойствами понимается итерационный процесс, конечной целью которого является построение адекватной модельной структуры технического объекта на основе автоматизированного анализа и обработки знаний и экспериментальных данных об этом объекте.

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

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

Конечной целью рациональной структурной идентификацией является построение адекватной модельной структуры технического объекта.

Субъектом рациональной структурной идентификации считается коллектив разработчиков САУ, который осуществляет практического познания технического объекта как объекта управления; нацелен на отыскание адекватной модельной структуры и мотивирован на создание реальной САУ. Главный мотив деятельности субъекта – установка на создание реальной САУ, удовлетворяющей требованиям Заказчика.

Формирование наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре состоит из четырех этапов:

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

Оценивание степени теоретической и практической обоснованности наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре состоит из двух этапов:

- 1) экспертная оценка функционального соответствия наиболее предпочтительных гипотез и технического объекта;
- 2) экспертная оценка степени теоретической и практической обоснованности наиболее предпочтительных гипотез об адекватной модельной структуре.

Изложенное выше определение понятия о рациональной структурной идентификации включает ряд слов и словосочетаний, смысл которых желательно уточнить, учитывая их возможное будущее назначение как научных терминов. Для этого необходимо как можно точнее выделить и содержательно зафиксировать основные существенные признаки объектов познания, которые можно обозначить данными словами или словосочетаниями. В первую очередь это желательно сделать в отношении к проблеме построения адекватной модельной структуры, представление о которой существенно влияет на формирование понятийно-терминологического аппарата научной методологии.

**Понятие о проблеме построения адекватной модельной структуры.** Под проблемой построения адекватной модельной структуры понимается система знаний, которая состоит из **условий** и **требований**.

**Условия** содержат все знания субъекта рациональной структурной идентификации о структурной идентификации и ее системном контексте в рамках инженерной практики создания САУ и определенных областей научного знания. В содержании **условий** можно выделить шесть видов знаний:

- знание об объекте и задаче автоматизации;
- знание о методах и средствах построения и экспериментального исследования модельных структур технического объекта;
- знание о методах и средствах моделирования реальных объектов;
- знание о допустимых в реальности действиях и деятельности;
- знание о современных требованиях к описанию, объяснению и обоснованию познавательных действий и деятельности;
- знание субъекта структурной идентификации о собственных интеллектуальных возможностях и об отношении к реальности имеющихся у него знаний.

Среди знаний о допустимых действиях и деятельности наиболее значимыми являются эмпирическое знание о реальных структурных идентификациях, научное знание о возможных в определенных условиях структурных идентификациях, индивидуальный опыт практической деятельности.

**Требования** содержат все знания субъекта рациональной структурной идентификации о желаемом, приемлемом и предполагаемом решении проблемы построения адекватной модельной структуры (кратко, **проблемы**).

Желаемым решением **проблемы** считается адекватная модельная структура технического объекта. Приемлемым решением **проблемы** называется наиболее предпочтительная гипотеза об адекватной модельной структуре, имеющая по результатам ее испытаний в системном контексте рациональной структурной идентификации достаточ-

ное, с точки зрения разработчиков САУ, подтверждение для начала ее практического применения. Особенно значимыми и необходимыми являются подтверждения, полученные в опытной эксплуатации пробного варианта САУ, спроектированного на основе использования предполагаемого решения **проблемы**. Под практическим применением понимается, как минимум, использование гипотезы для разработки окончательного варианта технического задания на создание САУ.

Предполагаемым решением **проблемы** называется наиболее предпочтительная гипотеза об адекватной модельной структуре, имеющая по результатам ее исследований на третьей стадии текущей итерации значимое для разработчиков САУ подтверждение, которое недостаточно для начала практического применения этой гипотезы. Наличие значимого подтверждения, указывающего на перспективность гипотезы, является веским основанием для организации ее дополнительных испытаний в системном контексте рациональной структурной идентификации с целью оценки полезности ее использования в качестве приемлемого решения **проблемы**.

В содержании **требований** можно выделить три вида знаний:

- знание конечной цели решения **проблемы**, т. е. знание признаков желаемого решения **проблемы**;
- знание признаков приемлемого решения **проблемы**, т. е. знание признаков достаточного подтверждения наиболее предпочтительной гипотезы об адекватной модельной структуре;
- знание признаков предполагаемого решения **проблемы**, т. е. знание признаков значимого подтверждения наиболее предпочтительной гипотезы об адекватной модельной структуре, которое недостаточно для начала практического применения этой гипотезы.

Наиболее предпочтительная гипотеза, даже если она в силу наличия достаточного подтверждения интерпретируется как приемлемое решение, может содержать модельную структуру, которая является точным описанием адекватной модельной структуры, а может и отличаться от этой модельной структуры. Совпадение или отличие в основном зависит от того, в какой степени субъект обладает такими качествами как знание и понимание физико-технических и технологических закономерностей объекта автоматизации, умение моделировать технические объекты. Исторический опыт инженерной практики свидетельствует в пользу гипотезы о способности высокопрофессиональных коллективов разработчиков САУ интуитивно находить адекватные модельные структуры в условиях априорной структурной неопределенности.

Предполагаемое решение **проблемы**, которое по результатам испытаний в системном контексте рациональной структурной идентификации не может быть интерпретировано в качестве приемлемого решения считается не соответствующей **требованиям проблемы**. В этом случае принимается решение о начале следующей итерации рациональной структурной идентификации, в которой на первой стадии осуществляется содержательная постановка новой проблемы построения адекватной модельной структуры. Аналогичные решения принимаются и в том случае, когда наиболее предпочтительные гипотезы по результатам исследований на третьей стадии текущей итерации рациональной структурной идентификации не могут быть интерпретированы как предполагаемое решение.

Процесс содержательной постановки новой **проблемы**, формирование наиболее предпочтительной гипотезы и ее испытания в системном контексте рациональной структурной идентификации продолжаются до тех пор, пока не будет найдена гипотеза об адекватной модельной структуре, которая имеет достаточное подтверждение для начала ее практического использования.

Рациональная структурная идентификация, образно говоря, выполняет функцию «генератора» гипотез об адекватной модельной структуре, а ее системный контекст осуществляет функцию «испытательного полигона» для испытания гипотез и экспертной оценки степени их теоретической и практической обоснованности. Однако проверка гипотез не единственная его функция, если под системным контекстом понимать не только процессы инженерной практики создания САУ, но и некоторые области научного знания, имеющие непосредственное отношение к методам и средствам организации рациональной структурной идентификации. Понимаемый в указанном широком смысле системный контекст выполняет еще функцию «источника» методов и средств порождения и оценки гипотез.

## 1.6. Понятие об условиях практической реализации рациональной структурной идентификации

Рациональная структурная идентификация технического объекта для цели проектирования САУ с требуемыми свойствами не может быть осуществлена (т.е. ее конечная цель не может быть достигнута) без:

- содержательной постановки проблемы отыскания адекватной модели технического объекта;
- проведения параметрической идентификации;
- синтеза пробных алгоритмов управления техническим объектом;
- разработки пробных САУ и их опытной эксплуатации;
- анализа результатов опытной эксплуатации пробных САУ и принятия решения о нахождении адекватной модели технического объекта или решения о постановке новой проблемы отыскания адекватной модели.

Результаты рациональной структурной идентификации, по сути дела, определяют возможность проектирования САУ с требуемыми техническими характеристиками. Поэтому эту идентификацию, в первую очередь, необходимо реализовать на предпроектных стадиях построения САУ, до начала стадии разработки и утверждения технического задания (ТЗ) на ее создание. Более того, рациональную структурную идентификацию в силу ее интеллектуальной трудности и трудоемкости желательно реализовать в рамках разработки аванпроекта по созданию САУ. В процессе разработки аванпроекта создаются макеты регулятора проектируемой САУ, с помощью которых появляется возможность оценить по результатам опытной эксплуатации технические характеристики пробных вариантов САУ и их соответствие техническим требованиям Заказчика.

## Заключение

Отсутствие в настоящее время междисциплинарных понятий существенно затрудняет развитие научных исследований в области структурной идентификации. Поэтому формирование междисциплинарных понятий и терминов является не только особо важным, но и первоочередным делом для исследователей, желающих изучать и проектировать структурную идентификацию в предположении, что в качестве ее субъекта выступает коллектив разработчиков САУ, осуществляющий практическое познание объекта автоматизации как объекта управления.