

Актуальные аспекты проблемы поиска адекватной имитационной модели для цели проектирования в условиях структурной неопределенности

К.С. Гинсберг

Аннотация. Анализируется состояние научных исследований по проблеме обеспечения требуемой степени адекватности, точности, достоверности, корректности и полезности имитационного моделирования сложных организационно-технических систем. Конкретизируются и развиваются современные научные представления о поиске адекватной имитационной модели, включающей структурную идентификацию. Приведены ключевые понятия структурной идентификации технического объекта для цели проектирования системы управления.

Ключевые слова: имитационное моделирование, поиск адекватной имитационной модели, структурная идентификация технического объекта, ключевые понятия, предпроектные стадии создания системы управления.

Введение

В работе [1] проанализированы основные проблемы имитационного моделирования, и, в частности, отмечено, что «одна из центральных проблем современной теории моделирования сложных организационно-технических систем (СОТС) в целом и ИМ указанных систем, в частности, заключается в обеспечении требуемой степени адекватности (в широком смысле), точности, достоверности, корректности и полезности (в узком смысле) рассматриваемого класса моделей по отношению к моделируемым объектам-оригиналам...» [1, с. 55].

Результаты базисных исследований указанной центральной проблемы приведены в работах [2-5], в которых изложены общие понятийные и методологические основы ее решения.

Данную проблему можно интерпретировать как проблему построения адекватной имитаци-

онной модели сложной организационно-технической системы, необходимой для успешного достижения конечной цели имитационного моделирования. Под *адекватной* имитационной моделью технической системы, по отношению к цели решения конкретной прикладной задачи (цели имитационного моделирования), понимается имитационная модель, имеющая такой уровень соответствия свойствам моделируемой технической системы, при котором субъект имитационного моделирования может на основе этой модели получить решение прикладной задачи, удовлетворяющее требованиям технического задания, с приемлемой для Заказчика точностью.

В рамках такой интерпретации теоретическое решение центральной проблемы сводится к разработке методов и средств поиска адекватной имитационной модели, а содержание работ [2-5] может быть интерпретировано как

изложение общих понятийных и методологических основ такого поиска.

Целью настоящей работы является конкретизация этих основ применительно к их практическому использованию для проектирования систем управления. В основном это касается идеи наличия в обобщенной технологии оценивания и управления качеством моделей двух процессов: процесса управления структурами моделей и процесса изменения концепции описания моделей. Если эти два процесса осуществляются на основе измерений входных и выходных сигналов моделируемой технической системы, то, согласно традиционным научным представлениям в области теории управления, они представляют собой ключевые процессы *структурной идентификации технического объекта* [6]. Есть все основания считать, что проблема структурной идентификации, в связи с предстоящей системной модернизацией российской промышленности и широким использованием имитационного моделирования для решения практических задач, приобрела в настоящее время важное прикладное значение, в частности, по следующей причине. Техническое обновление устаревших производственных фондов всегда связано с вводом в действие нового, более высокопроизводительного основного технологического оборудования (объекта управления) и, соответственно, новой, более эффективной системы управления. При этом часто требуется запустить функционирование системы управления (или, по крайней мере, окончить ее монтаж), одновременно с вводом в промышленную эксплуатацию основного технологического оборудования, что во многих случаях невозможно без осуществления структурной идентификации объекта управления.

Конкретизация методологических основ решения основной проблемы имитационного моделирования – поиска адекватной модели – может быть осуществлена, в первую очередь, за счет рассмотрения только пред-проектных стадий создания технической системы, которая будет работать в автоматическом режиме. Указанная техническая система представляет собой систему управления (СУ), состоящую из реально существующего технического объекта и регулятора. Регулятор на проектных стадиях конструируется таким образом, чтобы спроек-

тированная система управления удовлетворяла требованиям технического задания на ее создание.

Конечной целью имитационного моделирования на пред-проектных стадиях является разработка регулятора, с помощью которого можно создать систему управления техническим объектом, удовлетворяющую требованиям Заказчика. В процессе достижения к указанной цели имитационное моделирование неоднократно (итеративно) используется при поиске ответа на вопрос, можно ли на основе имеющегося знания о техническом объекте разработать систему управления, удовлетворяющую требованиям Заказчика на ее создание? Результаты проведенных имитационных исследований используются коллективом разработчиков для разработки технического задания на создание системы управления данным техническим объектом.

Более детальное описание применения имитационного моделирования на пред-проектных стадиях приведено в работах [7-8].

В качестве *технического объекта* могут быть рассмотрены: конкретное техническое устройство, его агрегат или узел, система устройств, технологический процесс, и т.д., не имеющие аналогов в промышленности. Будем предполагать также, что коллектив разработчиков начинает имитационное моделирование в условиях полного отсутствия достоверного априорного знания о структуре адекватной математической модели технического объекта для цели проектирования системы управления, т.е. в условиях *структурной неопределенности*. Полагается, что переход от структурной неопределенности к *параметрической неопределенности* в знании адекватной математической модели, в силу существенной ограниченности сроков создания системы управления, возможен только в результате проведения структурной идентификации технического объекта.

Ниже приведены ключевые понятия *структурной идентификации* технического объекта для цели проектирования системы управления. Эти ключевые понятия в совокупности определяют содержание *нормативной концептуальной модели* рациональной структурной идентификации. Указанная модель рассматривается как эталон, образец рациональной структурной

идентификации. Другими словами, с помощью нормативной концептуальной модели постулируется: как, в идеале, должна быть осуществлена рациональная структурная идентификация. Далее в работе обсуждаются особенности проблемы структурной идентификации в составе имитационного моделирования, затрудняющие ее научное и техническое решение.

Ключевые понятия структурной идентификации технического объекта

Поиск адекватной математической модели.

Адекватной математической моделью для цели проектирования системы управления называется математическая модель, на основе которой коллектив разработчиков может осуществить такой синтез регулятора, что по результатам этого синтеза можно спроектировать систему управления, удовлетворяющую требованиям Технического задания.

Поиск адекватной математической модели для цели проектирования системы управления реализуется как итерационный процесс, отражающий требования гипотетико-дедуктивного метода познания. В наиболее полном составе этот процесс включает: стадию *идентификации технического объекта* для цели проектирования СУ; стадию синтеза регулятора проектируемой СУ; стадию оценивания приемлемости синтезированного алгоритма управления для проектирования СУ с требуемыми свойствами.

Стадия *идентификации* состоит из: этапа структурной идентификации и организованного после его завершения этапа параметрической идентификации.

Понятие об идентификации технического объекта. *Идентификацией технического объекта* для цели создания системы управления называется итерационный процесс, на каждой итерации которого осуществляется построение *пробной математической модели технического объекта для цели проектирования СУ*, основанное на анализе экспериментальных наблюдений входных и выходных сигналов технического объекта. Идеальной целью данного итерационного процесса является построение адекватной математической модели технического объекта для цели проектирования СУ.

Идентификация для цели проектирования системы управления является одним из процессов, которые коллектив разработчиков организует в рамках инженерной практики создания СУ, удовлетворяющей требованиям технического задания. Все этапы этой инженерной практики образуют систему, для которой конечная цель этой практики выступает в качестве системообразующего фактора. Поэтому научное исследование идентификации следует вести с позиций системного подхода.

Условия возникновения потребности в структурной идентификации. Структурная идентификация для цели проектирования системы управления (СУ) обычно реализуется на пред-проектных стадиях создания СУ, до начала стадии разработки и утверждения технического задания на ее создание. Решение об осуществлении структурной идентификации принимается только в том случае, если у коллектива разработчиков:

- отсутствует достоверное априорное знание о структуре адекватной математической модели технического объекта для цели проектирования системы управления;
- имеется только набор рабочих гипотез о принадлежности адекватной математической модели конкретным семействам математических моделей, параметризованных векторными параметрами с заданным множеством допустимых значений в евклидовом пространстве (кратко, *модельным структурам*, в соответствии с терминологией работы [6]).

Положим, что конкретные параметрические семейства математических моделей (*пробные модельные структуры*) выбраны таким образом, что эмпирические оценки векторных параметров, параметризующих эти семейства, можно получить с помощью традиционных математических методов параметрической идентификации.

Структурная идентификация. *Структурной идентификацией технического объекта* для цели проектирования системы управления назовем итерационный процесс, каждая итерация которого включает три этапа:

- формирование набора рабочих гипотез об адекватной математической модели технического объекта для цели проектирования СУ.

Каждая рабочая гипотеза представляет собой предположение о принадлежности адекватной математической модели пробной модельной структуре;

- определение «наилучшей» рабочей гипотезы на основе анализа экспериментальных наблюдений входных и выходных сигналов технического объекта;

- предварительный инженерный анализ «наилучшей» рабочей гипотезы с точки зрения проектирования системы управления.

«Наилучшей» считается та рабочая гипотеза, которая обеспечивает наилучшее (для заданного набора рабочих гипотез) значение выбранного коллективом разработчиков показателя качества рабочих гипотез (параметрических семейств математических моделей).

Таким образом, структурная идентификация технического объекта для цели проектирования СУ представляет собой итерационный процесс, на каждой итерации которого осуществляется нахождение пробной модельной структуры технического объекта для цели проектирования СУ на основе имеющегося набора экспериментальных наблюдений входных и выходных сигналов технического объекта. Идеальной целью итерационного процесса является нахождение *адекватной модельной структуры технического объекта* для цели проектирования СУ.

Модельной структурой называется семейство математических моделей, параметризованных скалярным или векторным параметром с заданным множеством допустимых значений в евклидовом или функциональном пространстве. Адекватная модельная структура технического объекта для цели проектирования системы управления – это модельная структура, на основе которой в процессе параметрической идентификации можно определить адекватную математическую модель технического объекта для цели проектирования системы управления.

Системное окружение структурной идентификации. Системное окружение структурной идентификации, необходимое для ее практической реализации, состоит из трех подсистем:

- подсистема, в которой реализуются этапы параметрической идентификации;

- подсистема, в которой реализуется синтез регулятора проектируемой системы управления

на основе построенной пробной математической модели технического объекта;

- подсистема, в которой реализуются стадии оценивания приемлемости синтезированного регулятора для проектирования САУ с требуемыми свойствами.

Системное окружение структурной идентификации, главным образом, используется для теоретической и опытной проверки возможности спроектировать систему управления на основе «наилучшей» рабочей гипотезы, выбранной в процессе структурной идентификации. Результаты этой проверки (испытания «наилучшей» рабочей гипотезы) поступают на вход системы, в которой формируется структурная идентификация в том случае, когда тестируемая гипотеза отвергается. В этом случае коллектив разработчиков начинает новую итерацию структурной идентификации, в ходе которой выдвигается новая рабочая гипотеза. Процесс выдвижения новой рабочей гипотезы и ее испытание продолжают до тех пор, пока не будет найдена адекватная математическая модель технического объекта для цели проектирования СУ или ее приемлемое приближение.

Из вышеизложенного следует, что структурная идентификация в рамках поиска адекватной имитационной модели технического объекта для цели проектирования системы управления выступает в качестве генератора рабочих гипотез, а в ее системном окружении реализуется процедура испытаний этих гипотез.

Заключение

В настоящее время проблемы научного направления «квалиметрия моделей и полимодельных комплексов» [1], несомненно, должны являться центральными и наиболее значимыми проблемами теоретических основ имитационного моделирования. Указанная точка зрения имеет веские основания. Умение оценивать и управлять качеством моделей – необходимое условие реализации практически любого имитационного исследования. Однако, в настоящее время уже недостаточно наличия у коллектива разработчиков указанного умения. Желательно, с точки зрения потребностей практики и теории, чтобы оценивание и управление осу-

ществлялись рационально и, в определенном смысле, наилучшим образом.

Проблемы рационального и «наилучшего» оценивания и управления качеством моделей в настоящее время недостаточно изучены на теоретическом уровне. В частности, это происходит из-за того, что детальное и системное исследование этих проблем, по-видимому, возможно только на основе изучения *разнообразных моделей поиска адекватной имитационной модели*. Создание модели поиска, по сути дела, предваряет научное исследование проблем оценивания и управления. Данная идея сформулирована в настоящей работе.

Представляется, что фундаментальные исследования проблемы организации структурной идентификации в составе имитационного моделирования в настоящее время находятся на этапе осознания проблемы и ее первоначальной постановки.

В чем трудность решения проблемы организации структурной идентификации в составе имитационного моделирования? Причина видится в ее междисциплинарном характере. Последнее означает, что для ее научного решения необходимо объединение подходов, методов и содержательных представлений, по крайней мере, таких дисциплин, как: системный анализ, когнитивная наука, квалиметрия моделей и полимодельных комплексов, имитационное моделирование, идентификация систем, математическое моделирование, теория автоматического управления, теория активных систем, автоматизированное проектирование, планирование промышленных экспериментов.

Литература

1. Плотников А.М., Рыжиков Ю.И., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Анализ современного состояния и тенденции развития имитационного моделирования в Российской Федерации (по материалам конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД)) // Труды СПИИРАН. 2013. Выпуск 25, С. 42-112.
2. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Теория систем и управления. 2004. № 6. С. 5-16.
3. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальные и методологические основы квалиметрии моделей и полимодельных комплексов // Труды СПИИРАН. 2004. Выпуск 2. Том 1. С. 10-35.
4. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальные основы квалиметрии моделей и полимодельных комплексов // Имитационное моделирование. Теория и практика. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2005. Том 1. – СПб.: ФГУП «ЦНИИТЭС», 2005. С. 65-70.
5. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Применение алгебраического подхода в квалиметрии моделей и полимодельных комплексов // Имитационное моделирование. Теория и практика. Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2013. Том 1. – Казань: Изд-во «Фэн», 2013. С. 68-79.
6. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 432 с.
7. Скурихин В.И., Дубровский В.В., Шифрин В.В. АСУ ТП. Предпроектная разработка алгоритмов управления. Киев: Наук. Думка, 1980. – 296 с.
8. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.

Гинсберг Константин Симонович. Старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. Окончил Московский инженерно-физический институт (МИФИ) в 1967 году. Кандидат технических наук. Автор 110 печатных работ. Область научных интересов: математическое моделирование, идентификация систем, теория автоматического управления, системный анализ, методология научного исследования, автоматизированное проектирование. E-mail: ginsberg@mail.ru