А.М. Инков

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ. ЛЕКЦИЯ № 1



Шымкент, 2011

Модуль 1. Моделирование и идентификация статических характеристик объектов

Тема 1. Введение

Лекция 1 Вводная

В этой вводной лекции мы рассмотрим следующие проблемы и вопросы: краткая справка о развитии и формировании методов идентификации; философские аспекты моделирования; идентификация в процессах управления; основные понятия о моделях и методах их построения; неизбежность упрощения модели по сравнению с реальным объектом; отражение свойств объекта, существенных для цели моделирования; адекватность и критерии адекватности модели.

Цели и задачи дисциплины Дисциплина «Моделирование и идентификация объектов управления» является одним из обязательных направлений в современной подготовке специалистов по специальности 050702 - Автоматизация и управление к производственной и исследовательской работе по эксплуатации и разработке автоматизированных систем управления технологическими процессами, техническими системами и объектами управления и соответствует государственному общеобязательному стандарту высшего профессионального образования. Данное пособие составлено на основании государственного общеобязательного стандарта образования Республики Казахстан ГОСО РК ГОСО 03.08.328-2006 специальности 050702 – «Автоматизация и управление» и типовой программы дисциплины, разработанной Институтом автоматики и управления Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева, Алматы, 2006г.

Целью преподавания дисциплины «Моделирование и идентификация объектов управления» является разработка математической модели и реализация процесса идентификации автоматизируемою технологического процесса (ТП), а основной задачей построение модели по результатаём наблюдений, которая являлась одной из основных задач теории автоматического управления.

В процессе обучения студенты должны получить знания: принципов системного подхода при решении задач автоматизации и управления; основных методов и алгоритмов; особенностей исследований непрерывных и дискретных технических систем и объектов управления; основных положений автоматизации как научных, так и промышленных исследований в задачах идентификации и моделирования технических систем. Студент должен приобрести умения: ориентироваться и обоснованно применять методы и алгоритмы; проводить исследования и обрабатывать результаты с целью получения математических моделей в рамках процесса проектирования и построения систем управления объектами различной физической природы. В результате специалист получает навыки решения творческих, исследовательских и производственных задач на основе самостоятельности освоения и проработки технического задания на разработку; изучения научно-технической литературы; применение вычислительной техники для реализации разрабатываемых или осваиваемых алгоритмов.

Основная задача изучения дисциплины. В соответствии с ГОСО 03.08.328-2006 «Специальности 050702 – Автоматизация и управление. Бакалавриат» студенты должны изучить следующее.

Классификация моделей и виды моделирования; примеры моделей систем; основные положения теории подобия; этапы математического моделирования; принципы построения и основные требования к математическим моделям систем; цели и задачи исследования математических моделей систем; общая схема разработки математических моделей; формализация процесса функционирования системы; построение математических моделей объектов и систем по экспериментальным данным; структурная и параметрическая идентификация; методы построения статических и динамических моделей объектов управления; описание модели при взаимодействии с внешней средой; модели возмущений; критерии и показатели качества идентификации; методы идентификации; условия идентифицируемости объектов; структурная идентификация; общая схема оценивания, Байесово оценивание, оценивание по методу максимального правдоподобия и методу наименьших квадратов; итеративные алгоритмы идентификации, программные средства моделирования объектов и систем.

Приведенное ниже содержание лекционного материала является основной для самостоятельной работы по изучению материала дисциплины при подготовке к лекции и отчетности. В процессе прослушивания лекции студент должен иметь при себе эти методические указания, используя их для пометок. Это позволяет значительно сократить время на конспектирование материала.

Задачу идентификации характеристик системы можно рассматривать как дуальную по отношению к задаче управления системой. Нельзя управлять системой, если она не идентифицирована либо заранее, либо в процессе управления. Например, мы не можем управлять автомобилем, пока не познакомимся с его реакцией на поворот руля, нажатие акселератора или тормоза, т. е. пока не ознакомимся со свойствами автомобиля. Этот процесс освоения автомобиля («привыкания» к нему) и представляет собой процесс идентификации. Таким образом, идентификацию реакции автомобиля мы осуществляем и в том случае, когда нам не известна система описывающих его дифференциальных уравнений. В общем случае, если необходимо перевести систему из состояния A в состояние B, то можно положиться либо на свое умение управлять системой, либо изучить реакции системы на одно или несколько управляющих воздействий. Если априори известно, что воздействие Uj переводит систему ближе к состоянию B, то следует прилагать именно это входное воздействие. В отсутствие такого априорного знания можно измерять реакции системы на ряд входных воздействий, выполняя таким образом по существу идентификацию. Знание результатов идентификации до начала процесса управления существенно влияет на его реализацию.

Выявление дифференциальных уравнений процесса представляет собой одну из возможных, но не единственную форму идентификации. Можно, например, составить таблицу возможных управляющих воздействий и соответствующих им откликов системы в заданном интервале времени. Из этой таблицы можно затем легко определить лучшие (с точки зрения преследуемой цели) процессы управления. Подобно этому могут быть сформированы идентификационные модели и на основании других методов описания процессов.

В дисциплине рассматриваются различные методы идентификации, основанные на разных подходах к форме задания идентификационных моделей (например, дифференциальные уравнения, разностные уравнения, передаточные функции, градиентные выражения и т. п.).

Ни один из обсуждаемых методов идентификации не годится для идентификации всех видов систем. Каждый из них имеет свою область или области применения. Это, однако, не означает, что на современном уровне идентификация должна рассматриваться как набор готовых рецептов для различных типов систем. Сейчас уже можно говорить о теории идентификации, имеющей дело с оцениванием параметров на основании измеренных текущих входных и выходных данных, причем качество идентификации повышается с увеличением числа измерений. Ошибки идентификации, естественно, приводят к ошибкам в управлении или в требуемом выходном параметре системы; эти ошибки могут быть использованы для дальнейшего улучшения идентификации. Следовательно, теория идентификации аналогична, точнее, дуальна теории управления, в которой ошибки управления (в предположении, что система идентифицирована) используются для улучшения последующего процесса управления. Аналогично теории управления в теории идентификации существует несколько подходов, применяемых ко многим ситуациям и случаям.

Теория идентификации распространена на случай оценивания параметров устройств предсказания и фильтров. Это объясняется тесной взаимосвязью задач предсказания и идентификации, поскольку идентификация проводится обычно в целях облегчения предсказания поведения идентифицируемой системы в будущем. Однако задача предсказания отличается от задачи идентификации тем, что последняя для предсказания поведения в будущем рассматривает соотношения входов и выходов системы при заданных параметрах и входных воздействиях системы. Предсказание временных рядов основано на анализе измеренных значений, однако входные воздействия часто недоступны измерению и полностью неизвестны. Поэтому идентификация параметров устройств предсказания основана лишь на использовании предшествующих измерений сигналов, значения которых в будущем необходимо предсказать (и которые рассматриваются как выход системы, чей вход недоступен измерению), а воспользоваться данными о соотношениях входов и выходов нельзя.

Вообще говоря, различают несколько характерных ситуаций, для которых необходимы различные методы исследования. Во-первых, различают системы линейные и нелинейные, причем линейные системы легче идентифицировать, поскольку они обладают свойствами суперпозиции. Во-вторых, различают системы стационарные и нестационарные (к последним относятся системы с изменяющимися во времени параметрами). Системы могут считаться стационарными, если их параметры меняются медленно по сравнению со временем, которое требуется для точной идентификации. В-третьих, системы часто делятся на дискретные и непрерывные, хотя преобразовать непрерывную формулировку задачи в дискретную обычно довольно просто. Четвертый вариант классификации различает методы идентификации для систем с одним или несколькими входными воздействиями. Это деление целесообразно вводить потому, что методы идентификации значительно упрощаются, если на систему подается лишь одно входное воздействие, по сравнению со случаем, когда на систему действует одновременно комбинация нескольких возмущений или входных воздействий. Пятый вариант классификации предусматривает возможность идентификации детерминированных или стохастических процессов. При идентификации последних ориентируются в основном на вероятностные представления о точном состоянии системы. (На практике все результаты измерений засорены шумом и для точной идентификации необходимо осуществить фильтрацию или сглаживание). При идентификации детерминированных систем обычно предполагается, что фильтрация уже была проведена. Шестой, и, возможно, наиболее важный, но трудно осуществимый, вариант классификации — классификация методов идентификации в зависимости от наличия априорной информации о системе. При классификации систем по признакам линейности или стационарности также используют априорную информацию. Эти признаки (линейность и стационарность), если они заранее неизвестны, конечно, могут быть установлены в процессе анализа результатов измерений. При любом методе идентификации очень важным является знание размерности вектора состояния и природы внутренних связей или нелинейностей.

В основу перечисленных способов классификации положена по существу степень сложности идентификации. Очевидно, идентифицировать детерминированный линейный стационарный процесс известного порядка с одним входом существенно проще, чем аналогичный стохастический процесс неизвестного порядка, который может быть нелинейным и нестационарным.

Краткая справка о развитии и формировании методов идентификации

Математические модели являются одним из основных инструментов познания человеком явлений окружающего мира. Под математическими моделями понимают основные закономерности и связи, присущие изучаемому явлению. Это могут быть формулы или уравнения, наборы правил или соглашений, выраженные в математической форме. Испокон веков в математике, механике, физике и других точных науках естествознания для описания изучаемых ими явлений использовались математические модели. Так, законы Ньютона полностью определяют закономерности движения планет вокруг Солнца. Используя основные законы механики, относительно нетрудно составить уравнения, описывающие движение космического аппарата, например, от Земли к Луне. Однако получить их решение в виде простых формул не представляется возможным. Для расчета траекторий космических аппаратов служат компьютеры.

Применение компьютеров для математического моделирования изменило само понятие "решить задачу". До этого исследователь удовлетворялся написанием математической модели. А если ему еще удавалось доказать, что решение (алгоритм) в принципе существует, то этого было достаточно, если априори полагать, что модель адекватно описывает изучаемое явление. Поскольку, как правило, нет простых формул, описывающих поведение модели, а стало быть и объекта, который описывается моделью, то единственный путь - свести дело к вычислениям, применению численных методов решения задач. В таком случае необходим конкретный алгоритм, указывающий последовательность вычислительных и логических операций, которые должны быть произведены для получения численного решения. С алгоритмами связана вся история математики. Само слово "алгоритм" является производным от имени средневекового узбекского ученого Аль-Хорезми. Еще древнегреческим ученым был известен алгоритм нахождения числа "пи" с высокой точностью. Ньютон предложил эффективный численный метод решения алгебраических уравнений, а Эйлер - численный метод решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Как известно, модифицированные методы Ньютона и Эйлера до сих пор занимают почетное место в арсенале вычислительной математики. Ее предметом являются выбор расчетной области и расчетных точек, в которых вычисляются характеристики моделируемого объекта, правильная замена исходной математической модели ее аналогом, пригодным для расчета, т. е. некоторой дискретной моделью. Поскольку модели должны представлять изучаемые явления в необходимой полноте, понятно, что они становятся весьма сложными.

В модели входят множество величин, подлежащих определению, а сами эти величины зависят от большого числа переменных и постоянных параметров.

Наконец, модели реальных процессов оказываются нелинейными. Аппарат классической математической физики приспособлен для работы с линейными моделями. В этом случае сумма (суперпозиция) частных решений уравнения есть также его решение. Найдя частное решение уравнения для линейной модели, с помощью принципа суперпозиции можно получить решение в общем случае. На этом пути в традиционной математической физике были получены замечательные результаты. Однако она становится бессильной, если встречается с нелинейными моделями. Принцип суперпозиции здесь неприменим, и алгоритмов для построения общего решения не существует. Поэтому для нелинейных моделей законченных теоретических результатов получено немного.

Методология математического моделирования в кратком виде выражена знаменитой триадой "модель - алгоритм - программа", сформулированной академиком А. А. Самарским, основоположником отечественного математического моделирования. Эта методология получила свое развитие в виде технологии "вычислительного эксперимента", разработанной школой А. А. Самарского, - одной из информационных технологий, предназначенной для изучения явлений окружающего мира, когда натурный эксперимент оказывается слишком дорогим и сложным.

Во многих важных областях исследований натурный эксперимент невозможен, потому что он либо запрещен (например, при изучении здоровья человека), либо слишком опасен (например, при изучении экологических явлений), либо просто неосуществим (например, при изучении астрофизических явлений).

Вычислительный эксперимент в отличие от натурных экспериментальных установок позволяет накапливать результаты, полученные при исследовании какого-либо круга задач, а затем быстро и гибко применять их к решению задач в совершенно других областях. Этим свойством обладают используемые универсальные математические модели. Например, уравнение нелинейной теплопроводности пригодно для описания не только тепловых процессов, но и диффузии вещества, движения грунтовых вод, фильтрации газа в пористых средах. Изменяется только физический смысл величин, входящих в это уравнение.

Проведение вычислительного эксперимента можно условно разделить на два этапа. После первого этапа вычислительного эксперимента, если надо, модель уточняется как в направлении ее усложнения (учет дополнительных эффектов и связей в изучаемом явлении), так и упрощения (выяснение, какими закономерностями и связями в изучаемом явлении можно пренебречь). На последующих этапах цикл вычислительного эксперимента повторяется до тех пор, пока исследователь не убеждается, что модель адекватна тому объекту, для которого она составлена.

Информационные технологии, поддерживающие вычислительный эксперимент, включают в себя методы построения математических моделей силами конечных пользователей информационных систем (специалистов в своей предметной области, а не профессиональных математиков и программистов), информационную поддержку их деятельности для поиска и выбора алгоритмов и программ численного решения задач, методы и средства контроля точности производимых вычислений и правильности работы применяемых программ. При проведении вычислительного эксперимента исследователь может с помощью пользовательского интерфейса "играть" на модели, ставя интересующие его вопросы и получая ответы. Таким образом, исследователь получает мощный инструмент для анализа и прогноза поведения сложных нелинейных многопараметрических объектов и явлений, изучение которых традиционными методами затруднено или вообще невозможно.

Дата появления первых серьезных результатов вычислительного эксперимента в СССР зафиксирована вполне официально - 1968 год, когда Госкомитет СССР по делам открытий и изобретений засвидетельствовал открытие явления, которого на самом деле никто не наблюдал. Это было открытие, так называемого, эффекта Т-слоя (температурного токового слоя в плазме, которая образуется в МГД-генераторах). Свидетельство на это открытие было выдано академикам А. Н. Тихонову и А. А. Самарскому, члену-корреспонденту АН СССР С. П. Курдюмову, докторам физико-математических наук П. П. Волосевичу, Л. М. Дегтяреву, Л. А. Заклязьминскому, Ю. П. Попову (ныне директору ИПМ им. М. В. Келдыша РАН), В. С. Соколову и А. П. Фаворскому. В данном

случае вычислительный эксперимент предшествовал натурному. Натурные эксперименты "заказывались" по результатам математического моделирования. Через несколько лет в трех физических лабораториях на разных экспериментальных установках практически одновременно был надежно зарегистрирован Т-слой, после чего технологам и инженерам стал окончательно ясен принцип работы МГД-генератора с Т-слоем.

Плазма с ее нелинейными свойствами стала одним из важнейших объектов математического моделирования и вычислительного эксперимента. Заманчивая перспектива решения энергетической проблемы связана с управляемым термоядерным синтезом изотопов водорода, дейтерия и трития. Энергетическая проблема для человечества заключается в том, что нефти и газа при нынешнем темпе их потребления хватит всего на несколько десятков лет. А сжигать столь ценное химическое сырье в топках электростанций и двигателях внутреннего сгорания - это, по образному выражению Д. И. Менделеева, "почти все равно, что топить печь ассигнациями". С запасами угля дело обстоит гораздо лучше, но его добыча с каждым годом становится все труднее. Выходом может быть лазерный термоядерный управляемый синтез, исследование которого осуществляется с помощью вычислительного эксперимента. В 1974 г. коллектив сотрудников ФИАН и ИПМ АН СССР под руководством академиков Н. Г. Басова, А. Н. Тихонова и А. А. Самарского предложил принципиально новую концепцию лазерного термоядерного синтеза на основе результатов вычислительного эксперимента.

Еще одна область использования вычислительного эксперимента - это "вычислительная технология" - применение математического моделирования с помощью компьютеров не только для решения фундаментальных научных проблем, но и для разработки технологических процессов в промышленности. Для тех случаев, когда технологические процессы описываются хорошо известными математическими моделями, для расчета которых предложены эффективные вычислительные алгоритмы, разработаны пакеты прикладных программ, технология вычислительного эксперимента позволяет создавать новые программы и совершенствовать средства общения человека с компьютером. У технологов есть потребность в изучении новых промышленных технологий, например лазерно-плазменной обработки материалов (плазменной термохимии).

Основатель нобелевских премий Альфред Нобель, как известно, исключил математику из числа наук, за достижения в которых присуждается эта высшая научная награда. Вместе с тем, современное математическое моделирование охватывает области исследований, до недавнего времени недоступные математике. В последние годы ряд Нобелевских премий по химии, медицине, экономике, физике элементарных частиц были присуждены работам, методологическую основу которых составляло математическое моделирование.

Например, для дальнейшего исследования нелинейных процессов в микромире были разработаны соответствующие численные методы с применением компьютеров и компьютерных сетей (сетевых grid-технологий), ориентированные на решение задач физики элементарных частиц. Алгоритмы квантово-механических расчетов прогрессируют не менее быстрыми темпами, чем в других областях вычислительной математики.

Биология во многом остается экспериментальной и описательной дисциплиной, а история математического моделирования биологических процессов вряд ли насчитывает более 20 лет. И все-таки уже можно назвать биологические задачи, для которых вычислительный эксперимент становится определяющей методологией.

Математическое моделирование и вычислительный эксперимент - ведущие методологии изучения глобальных моделей процессов и явлений на Земле, например климата Земли. Проведение работ по глобальному моделированию стимулировалось деятельностью Римского клуба, неправительственной организации. Первую из таких моделей опубликовал в 1971 г. американский специалист по теории управления Д. Форрестер.

Компьютерные игры, проведенные Д. Форрестером с глобальной моделью, показали, что в середине XXI века человечество ждет кризис, связанный прежде всего с истощением природных ресурсов, падением численности населения и производства продуктов, ростом загрязнения окружающей среды.

Известны результаты глобального моделирования явления "ядерной зимы", выполненные в ВЦ АН СССР В. В. Александровым и Г. Л. Стенчиковым под руководством академика Н. Н. Моисеева. Эти результаты дали человечеству, в том числе политикам, неопровержимые аргументы против ядерной войны, даже так называемой "ограниченной ядерной войны".

Для математического моделирования и вычислительного эксперимента использовались, главным образом, универсальные цифровые вычислительные машины, доступные коллективам исследователей. В СССР в 70-80-х годах прошлого века это были БЭСМ-6 и модели ЕС ЭВМ, для которых разрабатывались библиотеки и пакеты прикладных программ вычислительной математики. С появлением персональных компьютеров стало возможно развитие информационной технологии вычислительного эксперимента, которая предусматривает поддержку пользовательского интерфейса и поиска нужных алгоритмов и программ с помощью персональных компьютеров (отечественного производства или импортных), а проведение расчетов на математических моделях - с помощью высокопроизводительных компьютеров БЭСМ-6, ЕС ЭВМ или суперкомпьютеров "Эльбрус".

Потребности вычислительного эксперимента при изучении явлений в наиболее сложных областях науки, таких, как проблемы физики элементарных частиц, молекулярной биологии (например, геном человека), геофизики (в частности, физики атмосферы) и др., оказались связанными с необходимостью обеспечить предельно возможные вычислительные мощности. Выход был найден в коллективном использовании вычислительных мощностей, доступных исследователям через компьютерные сети. В развитии так называемых grid-технологий, разрабатываемых мировым сообществом в настоящее время, участвуют и ведущие научные институты России: Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна), Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Институт физики высоких энергий РАН (г. Протвино), Институт биофизики РАН (г. Пущино), Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН и др. Идея организации распределенных вычислений в гетерогенной сетевой среде, называемая метакомпьютингом, образно выражается метафорой "grid (сеть)". Подобно тому, как мы подключаем к электросети бытовые приборы, не задумываясь об устройстве этой электросети, сетевые grid-технологии призваны предоставить исследователям требуемые вычислительные мощности как разделяемые ресурсы. В Европе такой сетью должна стать Data Grid, к которой будет подключен и российский сегмент.

Философские аспекты моделирования

В настоящее время нельзя назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы методы моделирования. Особенно это относится к сфере управления различными системами, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемой информации. Остановимся на философских аспектах моделирования, а точнее общей теории моделирования.

Методологическая основа моделирования. Все то, на что направлена человеческая деятельность, называется объектом (лат. objection — предмет). Выработка методологии направлена на упорядочение получения и обработки информации об объектах, которые существуют вне нашего сознания и взаимодействуют между собой и внешней средой.

В научных исследованиях большую роль играют гипотезы, т. е. определенные предсказания, основывающиеся на небольшом количестве опытных данных, наблюдений, догадок. Быстрая и полная проверка выдвигаемых гипотез может быть проведена в ходе специально поставленного эксперимента. При формулировании и проверке правильности гипотез большое значение в качестве метода суждения имеет аналогия.

Аналогией называют суждение о каком-либо частном сходстве двух объектов, причем такое сходство может быть существенным и несущественным. Необходимо отметить, что понятия существенности и несущественности сходства или различия объектов условны и относительны. Существенность сходства (различия) зависит от уровня абстрагирования и в общем случае определяется конечной целью проводимого исследования. Современная научная гипотеза создается, как правило, по аналогии с проверенными на практике научными положениями. Таким образом, аналогия связывает гипотезу с экспериментом.

Гипотезы и аналогии, отражающие реальный, объективно существующий мир, должны обладать наглядностью или сводиться к удобным для исследования логическим схемам; такие логические схемы, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперименты, уточняющие природу явлений, называются моделями. Другими словами, модель (лат. modulus — мера) — это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.

Определение моделирования. Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели называется моделированием. Таким образом, моделирование может быть определено как представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью. Теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями) и исследования свойств объектов на их моделях называется теорией моделирования [S, 36, 46].

Определяя гносеологическую роль теории моделирования, т. е. ее значение в процессе познания, необходимо прежде всего отвлечься от имеющегося в науке и технике многообразия моделей и выделить то общее, что присуще моделям различных по своей природе объектов реального мира. Это общее заключается в наличии некоторой структуры (статической или динамической, материальной или мысленной), которая подобна структуре данного объекта. В процессе изучения модель выступает в роли относительного самостоятельного квазиобъекта, позволяющего получить при исследовании некоторые знания о самом объекте.

Если результаты моделирования подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования процессов, протекающих в исследуемых объектах, то говорят, что модель адекватна объекту. При этом адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Обобщенно моделирование можно определить как метод опосредованного познания, при котором изучаемый объект-оригинал находится в некотором соответствии с другим объектом-моделью, причем модель способна в том или ином отношении замещать оригинал на некоторых стадиях познавательного процесса. Стадии познания, на которых происходит такая замена, а также формы соответствия модели и оригинала могут быть различными:

1) моделирование как познавательный процесс, содержащий переработку информации, поступающей из внешней среды, о происходящих в ней явлениях, в результате чего в сознании появляются образы, соответствующие объектам; 2) моделирование, заключающееся в построении некоторой системы-модели (второй системы), связанной определенными соотношениями подобия с системой-оригиналом (первой системой), причем в этом случае отображение одной системы в другую является средством выявления зависимостей между двумя системами, отраженными в соотношениях подобия, а не результатом непосредственного изучения поступающей информации.

Следует отметить, что с точки зрения философии моделирование — эффективное средство познания природы. Процесс моделирования предполагает наличие объекта исследования; исследователя, перед которым поставлена конкретная задача; модели, создаваемой для получения информации об объекте и необходимой для решения поставленной задачи. Причем по отношению к модели исследователь является, по сути дела, экспериментатором, только в данном случае эксперимент проводится не с реальным объектом, а с его моделью. Такой эксперимент для инженера есть инструмент непосредственного решения организационно-технических задач.

Надо иметь в виду, что любой эксперимент может иметь существенное значение в конкретной области науки только при специальной его обработке и обобщении. Единичный эксперимент никогда не может быть решающим для подтверждения гипотезы, проверки теории. Поэтому инженеры (исследователи и практики) должны быть знакомы с элементами современной методологии теории познания и, в частности, не должны забывать основного положения материалистической философии, что именно экспериментальное исследование, опыт, практика являются критерием истины.

Идентификация в процессах управления

Важнейшей задачей современной теории и практики управления является построение модели ОУ, т. е. формализация закономерностей функционирования объекта. На основе этой модели определяются структура, алгоритмы и параметры СУ, выбираются аппаратно-программные средства реализации системы. Одним из эффективных методов построения модели сложного объекта является идентификация.

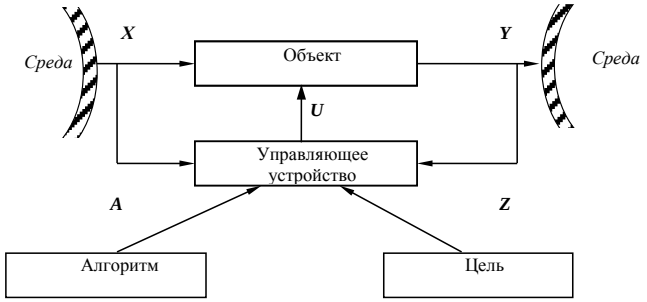
С проблемой моделирования мы сталкиваемся в двух случаях: во-первых, в процессах познания, когда стараются познавательные модели объектов и явлений, с которыми приходится сталкиваться человеку, и во-вторых, в процессах управления, связанных с целенаправленным изменением объекта, т.е. с достижением целей, постановленных человеком.

Нас интересует тип моделирования, который связан непосредственно с потребностями управления объектом. Действительно, чтобы управлять, нужно прежде всего знать, чем управляешь, т.е. иметь модель объекта, на которой можно «разыгрывать» последствия предполагаемого управления и выбрать наилучшее. Поэтому в процессе моделирования такого рода должна быть создана модель, которая, прежде всего обязана удовлетворять потребностям управления.

Следует отметить, что такая модель, синтезированная специально для потребностей управления, может и не отражать внутренних механизмов явления, что совершенно необходимо для познавательной модели. Ей достаточно лишь констатировать наличие определенной формальной связи между входом и выходом объекта.

В связи с этим целесообразно выяснить, что следует подразумевать под понятием «управление» и какие требования оно накладывает на модель управляемого объекта, получаемую в процессе моделирования.

Под управлением будем понимать процесс такого целенаправленного воздействия на объект, в результате которого объект оказывается в определенном смысле «ближе» к выполнению поставленных целей , чем до управления. На рисунке 1.1). показана общая схема управления объектом.



X- неуправляемая, но контролируемая составляющая;
U - управляемая составляющая; Y-информация о состоянии объекта, доступная управляющему устройству.

Рисунок 1.1 - Общая схема управления объектом

Для синтеза управления необходимо прежде всего определить цель Z, т.е. то, к чему должно «стремиться » управляющее устройство при воздействии на объект, каким должен быть объект с точки зрения управления. Однако, этого мало, необходимого еще иметь алгоритм управления A, который указывает, как достигнуть этой цели.

Таким образом управление реализуется четверкой

<U,I=<X,Y>,A,Z>,

где U-управляющее воздействие; I=<X,Y> - информация о состоянии среды и объекта; A- алгоритм; Z-цель управления.

Цель Z определяет требования, выполнение которых обеспечивается и организацией управляющего воздействия U с помощью алгоритма A и сбором информации по каналу Y. Не зная, как X и U влияют на состояние Y, т.е. не имея модели Y=F(X,U), нельзя определить управление U, достаточно лишь констатировать наличие определенной формальной связи.

Теория идентификации и моделирования – это научно-техническая дисциплина, которая занимается вопросами построения моделей объектов управления и систем управления и решает проблему оценки параметров этих моделей.

При рассмотрении проблемы идентификации различают **статический** подход, сущность которого в следующем: ставятся экспериментальные исследования, получают экспериментальную выборку, характеризующую динамику модели, на основании априорных данных о физических процессах в модели определяется структура самой модели, а по экспериментальной выборке определяются настроечные параметры модели.

Существует также **динамический** подход к проблеме идентификации: имеется некоторая замкнутая система, в этой системе специальным образом вводится дополнительный контур идентификации, который отслеживает изменение параметров модели в процессе реального функционирования системы, на основании некоторого критерия делаем оценку модели и при необходимости изменяем настроечные параметры объекта или системы в целом.

Предметом изучения курса являются методы построения моделей для объектов систем управления и методы определения динамических параметров этих моделей.

При изучении любых объектов (технических систем, процессов, явлений) основной задачей является построение их моделей. Как результат познания модель представляет собой отображение в той или иной форме свойств, закономерностей, физических и других характеристик, присущих исследуемому объекту. Характер модели определяется поставленными целями и может быть различным в зависимости от ее назначения. Модели разделяют на два основных класса: символические (словесные описания, схемы, чертежи, математические уравнения и т. д.) и вещественные (макеты, разного рода физические аналоги и электронные моделирующие устройства, имитирующие процессы в объектах).

При исследовании объектов, предназначенных для управления, применяют математические модели, входящие в класс символических, и вещественные. К математическим моделям относится такое математическое описание, которое адекватно отражает как статические, так и динамические связи между входными и выходными переменными объекта. Математическая модель может быть получена и аналитически (закономерности протекающих в объекте процессов полностью известны), и по результатам экспериментального исследования входных и выходных переменных объекта без изучения его физической сущности. Последний под-

ход особенно широко используется на практике, так как позволяет обойтись минимумом априорных сведений об объекте при построении его модели.

Для управления объектом необходимо иметь модель в виде математического описания, устанавливающего связь между входными и выходными переменными в форме, на основе которой может быть выбран закон управления, обеспечивающий заданное функционирование объекта. Получаемое описание должно давать правило преобразования воздействия на объект u в реакцию объекта y. Переменные u и y могут представлять собой функции одинаковых или разных аргументов. Преобразование одной функции в другую производится оператором, который определяет совокупность математических или логических операций, устанавливающих соответствие между ними: **x(t) = A{u(t)}.**

В качестве примера можно назвать операторы дифференцирования, интегрирования и т. п. Для стационарных линейных одномерных объектов оператор может быть задан в виде дифференциального уравнения или системы дифференциальных уравнений первого порядка, интегральной свертки, частотной характеристики (передаточной функции) объекта.

На практике объекты стремятся описывать линейными стационарными моделями, хотя в действительности все объекты в той или иной мере обладают свойствами нелинейности, нестационарности, распределенности, стохастичности. Использование более простых операторов следует рассматривать как попытку аппроксимации характеристик сложного объекта упрощенным приближенным описанием, но удобным для дальнейших расчетов. Описания могут быть заданы различным образом: аналитически, таблично, в виде разложения по какой-либо системе функций и т. д.

После формулировки целей управления необходимо выделить объект управления из среды, т. е. определить границы объекта и установить его взаимодействие со средой. Последнее характеризуется моделью возмущений. Далее строится структура и проводится идентификация параметров модели объекта. В процедуре синтеза управления, являющейся оптимизационной задачей, модель объекта выступает как ограничения. С помощью же модели возмущений можно оценить некоторые качественные показатели управления.

Когда решается задача управления сложным объектом, часто не удается получить описание, имеющее приемлемую точность. В этом случае используется ансамбль моделей, в котором каждая из них описывает отдельные стороны процесса. С упрощением моделей ослабляются и цели управления (например, в неопределенной ситуации ставится задача нахождения разумной стратегии управления без жестких качественных показателей). Часто такие модели реализуются как совокупность программ, имитирующих работу объекта и ориентированных на использование ЭВМ.

Выводы.

Построение математической модели объекта может производиться несколькими методами: аналитическим, экспериментальным и экспериментально-аналитическим.

Аналитический метод предусматривает получение математического описания объекта на основе законов физики, механики, химии и т. д. Такой подход дает положительный результат, если рассматриваемый объект достаточно прост по структуре и хорошо изучен. Если же объект изучен недостаточно или же настолько сложен, что аналитическое описание его математической моделью практически невозможно, прибегают к экспериментальным методам, суть которых сводится к статистической обработке технологических данных. При экспериментально-аналитическом методе априорная модель, полученная аналитическим путем, уточняется в соответствующих экспериментах.

Наиболее универсальную и достоверную математическую модель объекта можно найти аналитическим путем. Для этого необходимо располагать всесторонними сведениями об объекте (о конструкции, о законах, описывающих протекающие в нем процессы, об условиях функционирования и взаимодействия со средой). Однако часто из-за отсутствия достаточных данных получить решение задачи таким путем не удается. Трудности применения аналитических методов возникают и при описании реальных объектов, процессы в которых имеют сложный характер. Поэтому в подобных случаях эти методы дополняются экспериментальными исследованиями. Преимуществом моделей, полученных теоретическим путем, как правило, является их достаточно общий вид, позволяющий рассматривать поведение объектов в различных возможных режимах.

С практической точки зрения, более привлекательны экспериментальные методы, позволяющие находить модели объектов по результатам измерения их входных и выходных переменных. Хотя эти методы также предполагают наличие априорных сведений об изучаемом объекте, но их характер может быть не столь обстоятельным. Как правило, уровень априорных сведений должен быть достаточным лишь для выбора структуры модели и условий проведения эксперимента. Построение моделей объектов на основе такого подхода обычно и называют идентификацией.

В общем случае под идентификацией понимают определение структуры и параметров математической модели, которые обеспечивают наилучшую близость значений выходных переменных модели и объекта в смысле заданного критерия при одних и тех же входных воздействиях.

К выбору метода идентификации нельзя подойти однозначно, поскольку в самой постановке задачи заранее предполагается неопределенность (неполнота знаний об объекте, ограничения в наблюдениях объекта во времени, неточность измерения сигналов на входе и на выходе объекта и т. п.).

Комплекс задач при идентификации модели объекта обычно разделяется на три этапа:

- на первом этапе выбирается структура модели по результатам изучения объекта или по имеющимся априорным сведениям,
- на втором этапе - критерий близости (подобия) модели и объекта,
- на третьем этапе по экспериментальным данным определяются параметры модели исходя из выбранного критерия.

Следует заметить, что вследствие значительной сложности этап структурной идентификации часто сводят в значительной мере к эвристическому заданию структуры модели, опираясь на априорные данные об объекте. Очевидно, что в таких случаях эффективность последующей параметрической идентификации во многом определяется тем, насколько удачно была выбрана структура модели.

Особенности идентификации как оптимизационной задачи. Широкий спектр задач идентификации обусловливает, соответственно, большое разнообразие приемов и алгоритмов, применяемых для их решения. Однако практически все эти алгоритмы и их использование в процедурах идентификации имеют некоторую общую специфику, на которую важно обратить внимание.

Во-первых, при исследовании объектов с целью поиска их математического описания, как правило, применяют стандартные алгоритмы. Их необходимо хорошо понимать, чтобы правильно поставить задачу, подготовить исходные данные, выбрать параметры. Необходимость понимания существам алгоритма связана с тем, что необходимо хотя бы на качественном уровне прогнозировать результат и после вычислений либо принять его, либо повторить обработку, проведя необходимую коррекцию.

При использовании алгоритмов идентификации объектов необходимо иметь в виду, что в большинстве случаев они построены на основе принципа учета начальных представлений об исследуемом объекте. Однако начальные представления могут быть частично и даже полностью ошибочными, что может при очередном шаге реализации алгоритма не только улучшить, а даже ухудшить положение.

Начальные представления называют априорной (доопытной) информацией, в противоположность апостериорной (послеопытной) информации. Обычно апостериорная информация – это выборка (массивы, составленные из значений сигналов, измеренных на входе и выходе объекта); характер априорной информации может быть более разнообразен – представление о структуре оператора изучаемого объекта, частотной характеристике сигналов и объекта, функции распределения случайных величин и т.п.

Основная литература

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа. 2001
2. Авдеев П. Ф. Философия информационной цивилизации. — М.: ВЛАДОС, 1994

Дополнительная литература

3. Гроп Д. Методы идентификации систем. - М.: Мир, 1979.
4. Эйкхофф П. Основа идентификации систем управления. - М.: Мир, 1975.