

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ. МЕТОДОЛОГИЯ. ПРОБЛЕМЫ

Е.Н. Малыгин

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.Н. Долгунин

Ключевые слова и фразы: математическая модель; конструктивные и режимные характеристики; объект исследования или проектирования; системный подход.

Аннотация: Рассмотрена методология принятия решений при проектировании и исследовании технических систем.

Введение

Современный уровень создания технических систем требует от разработчика умения формулировать (ставить) задачу исследования и осуществлять разработку такой системы, которая отвечала бы высоким техническим показателям, должна быть экономически обоснована, конкурентноспособна на рынке аналогичной технической продукции [1].

Выполнение таких требований обязывает разработчика не только иметь быстродействующие системы исследования, разработки и выпуска технической системы, но и наличия двух-трех, а может быть и более, вариантов аналогичного технического изделия, находящегося в различных стадиях разработки. Только в этом случае можно выдержать конкурентную борьбу на рынке.

Решение подобной задачи невозможно без использования современных достижений в области классической математики, математического моделирования, теории оптимального управления, системного анализа, современных информационных технологий и средств вычислительной техники [2].

При создании (проектировании) технической системы необходимы знания фундаментальных основ процессов, протекающих в объекте исследования, в тех прикладных областях, для которых разрабатывается техническая система. Без ясного и четкого понимания процессов, которые протекают в технической системе ее создание невозможно. Кроме этого, разработка технической системы должна отвечать требованиям минимума

Малыгин Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», e-mail: kafedra@mail.gaps.tstu.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

материалоемкости и энергозатрат, заданным требованиям эксплуатационных характеристик, включая техническое обслуживание, и, наконец, утилизацию после выработки заданного срока эксплуатации [3 – 5].

Сократить время исследования и разработки технических систем в настоящее время можно только одним способом – уходом в область протекания технологических процессов в технической системе, представленных в форме математических отношений и реализуемых (решаемых) на быстродействующих средствах вычислительной техники. Другими словами – если время протекания конкретного процесса в технической системе составляет часы, то решение уравнения, описывающего такой процесс на компьютере, составляет доли секунды, то есть анализ и синтез технической системы могут осуществляться в другом, более скоротечном и удобном для разработчика временном масштабе.

Однако при этом разработчик должен иметь значительно бóльшую «научновооруженность» и в первую очередь это касается использования математических методов общего и специального назначений, о которых ниже и пойдет речь.

Анализ литературных источников позволяет сделать ряд выводов о некорректном применении классических и специальных математических методов при разработке и исследовании технических систем. В первую очередь это связано с неумением или нежеланием корректно осуществить постановку задачи исследования, а ведь именно этот этап определяет, какие конструктивные и режимные характеристики объекта исследования подлежат определению, что является мерой оптимальности этих величин, какие процессы, протекающие в объекте исследования, необходимо учитывать, есть ли основания для описания таких процессов известными и проверенными зависимостями или есть ли необходимость изучения процессов на специальных лабораторных стендах, какие требования предъявляются к математической модели объекта исследования, которая в дальнейшем будет использоваться для поиска режимных и конструктивных характеристик объекта и т.д.

Естественно, что осуществить одномоментную постановку задачи чрезвычайно трудно, чаще всего невозможно. Поэтому процесс постановки является многоэтапным – от простейшего вербального до окончательно формализованного, когда исходная задача представлена в строгой математической форме, пригодной для ее решения.

Зачастую в публикуемых работах предлагается математическая модель объекта исследования и не объясняется, для какой постановки задачи она пригодна, не уточняется область определения модели, ее адекватность объекту исследования, а при тщательном анализе выявляется, что исследователь искажает понятие самого объекта исследования.

Если объект исследования (техническая система) достаточно сложен, то необходима декомпозиция поставленной задачи на систему взаимосвязанных задач, для которых также необходимы постановка задачи, выбор метода ее решения и обоснование сходимости решения системы локальных задач к решению глобальной (исходной) задачи.

Современное состояние теории оптимального управления и средств вычислительной техники позволяет осуществлять постановку задач в экс-

тремальной форме, что дает исследователю возможность находить единственное, лучшее в смысле выбранного критерия оптимальности, решение.

Представление задачи исследования и проектирования технической системы в экстремальной форме позволяет получать минимальные затраты сырья, материалов на изготовление технической системы, энергетических ресурсов на ее эксплуатацию, предельно точно обеспечивать выполнение технологического регламента при функционировании и обслуживании технической системы.

Подобный подход правомерен, если в конкретной прикладной области есть необходимый минимум знаний для построения математической модели объекта исследования для конкретной постановки задачи. Однако такая ситуация бывает далеко не всегда. Может быть так, что отдельные процессы в объекте исследования недостаточно изучены и не могут быть с требуемой для практики точностью формализованы, то есть описаны в математической форме. При этом появляются специфические особенности постановки таких задач и методов их решения. Здесь постановка задачи изменяется – в алгоритм ее решения вводится лицо, принимающее решение, то есть эксперт, который компенсирует отсутствие необходимых для решения задачи знаний. В этом случае говорится об интеллектуальной системе поддержки принятия решения. Получаемое при этом решение носит условно-оптимальный характер.

Искомые величины также могут быть представлены в форме вероятностных характеристик. Часто исследователь может только подозревать о том, что в объекте имеют место мало- или совершенно неизученные процессы. Времени на их изучение нет. Тогда исследователь выдвигает гипотезу о математической форме, описывающей неизвестный процесс. Далее эти формы вводятся в состав математической модели объекта, куда уже вошли достаточно хорошо формализуемые процессы, осуществляется решение полученной системы, анализ результатов математического моделирования и корректировка гипотезы. Процесс имитационного моделирования заканчивается, если получены приемлемые с точки зрения исследователя результаты, или прерывается из-за отсутствия необходимой информации. Очевидно, что исследователь должен обладать высокой квалификацией как в области процессов, протекающих в объекте исследования, так и в области классических и специальных математических методов, используемых для решения уравнений получаемых математических моделей.

Суть применения математических методов заключается в упорядоченном использовании современных достижений в области системного анализа, математического моделирования, теории оптимального управления, методов решения уравнений математических моделей технических объектов, современных информационных технологий и средств вычислительной техники.

Принципы, на которых базируется применение математических методов при разработке и исследовании технических систем, заключаются в следующем:

- декомпозиция исходной задачи на систему взаимосвязанных задач, с применением в дальнейшем методов системного анализа;
- применение методов математического моделирования для описания процессов в технических системах;

- применение теории оптимального управления и имитационного моделирования на завершающем этапе исследования;
- применение современного информационного обеспечения и средств вычислительной техники для реализации решения задач разработки и исследования технических систем.

Применение указанных выше принципов при разработке и исследовании технической системы в конкретной прикладной области дает возможность на современном уровне проводить как изучение поведения процессов в объекте исследования при различном его конструктивном оформлении, так и определять его оптимальные режимные и конструктивные характеристики.

Математическая постановка задачи исследования

Любое творческое начало в деятельности человека в любой сфере его деятельности должно начинаться с определения целей исследования и способов их достижения. Чем яснее и четче исследователь ведет себя на этом этапе, тем качественнее получаемые результаты и меньше вероятность получения неточных, а зачастую ошибочных результатов.

Цель исследования формулируется в постановке задачи исследования. Вначале постановка задачи формулируется в простейшем варианте, далее происходит уточнение различных факторов, определяющих решение задачи, анализ имеющихся статистических данных, принятие допущений и т.п.

Однако даже формулировка задачи в простейшей вербальной форме требует от исследователя мобилизации всех знаний, используемых в дальнейшем для решения поставленной задачи. Словесная (вербальная) постановка задачи может звучать так: «... необходимо разработать техническую систему для реализации технологического регламента (системы технологических процессов) так, чтобы обеспечивались заданная производительность, качество производимой продукции, удобство эксплуатации, безопасность для окружающей среды и обслуживающего персонала, минимальные капитальные, эксплуатационные расходы и себестоимость получаемой продукции. При этом процесс исследования, проектирования, монтажа и выхода на проектную мощность не должен превышать заданных сроков».

Так может формулироваться постановка задачи на ее начальной стадии. Далее требуется уточнять, что представляет собой технологический процесс, который будет реализован в технической системе, насколько он отвечает тем знаниям в конкретной предметной области, на основании которых можно будет получить желаемые результаты, какие будут приняты допущения, в каком виде будут представлены конструктивные и режимные характеристики технической системы, обеспечивающие наилучшее протекание технологического процесса, в каких интервалах будет осуществляться поиск конструктивных и режимных характеристик технической системы, как будут оцениваться капитальные и эксплуатационные затраты, какие методы будут применяться при решении поставленной задачи и т.п.

Если рассматривать решение задачи проектирования «с конца», то завершающей стадией получения проектных решений будет применение средств вычислительной техники. Представить информацию для компью-

тера можно только в строгой математической формулировке, то есть задача должна быть формализована. Это формализованное математическое представление решаемой задачи и будет завершающим этапом постановки задачи, когда процесс сбора, анализа и представления информации завершён и можно начинать собственно вычислительные операции.

Этапу окончательной постановки задачи предшествует этап разработки математической модели объекта исследования, когда в соответствии с постановкой задачи осуществляется формализация процессов, протекающих в объекте с требуемой для практического использования точностью.

Последнее предопределяет адекватность математической модели исследуемому объекту в области ее использования (определения) в соответствии с постановкой задачи.

Отсюда следует важный вывод – применение компьютера до окончательной постановки задачи в формализованном виде не требуется. Исключением является этап реализации метода решения уравнений математической модели и проверки ее адекватности.

До окончательной постановки задачи действия исследователя должны быть сосредоточены на анализе постановки задачи исследования, обосновании искомых параметров объекта, допущениях, которые принимает исследователь, изучении процессов, протекающих в объекте, выборе метода их описания и, на основании этого, разработке адекватной модели объекта. На этих этапах исследователь должен максимально мобилизовать свои мыслительные способности и отдавать себе отчет в том, что компьютер позволяет только ускорить процесс принятия решения по той программе, которую заложит в него исследователь.

Еще один вывод, который можно сделать, заключается в том, что постановка задачи однозначно определяет структуру математической модели и область ее определения. Другими словами, постановка задачи является техническим заданием на разработку математической модели объекта.

Иногда на этом этапе исследователю требуются дополнительные экспериментальные данные, исследования и статистическая информация, которые на начальном этапе постановки задачи неочевидны. Следует отметить, что большинство статистических данных есть не что иное, как результаты эксперимента на реальном, физически существующем объекте при определенных условиях проведения эксперимента. Процесс постановки задачи исследования завершается тогда, когда можно в окончательном варианте осуществить запись решаемой задачи в формализованном виде, то есть в форме математических выражений.

Таким образом, постановка задачи исследования сводится к процедуре последовательного уточнения формулировки задачи до тех пор, пока задачу можно будет решать. Можно сделать вывод о целесообразности осуществлять постановку задачи в терминах теории оптимального управления, то есть в терминах экстремальных задач. В этом случае научно-исследовательская задача в любой предметной области может быть сведена к следующей постановке: необходимо найти такие варьируемые параметры, чтобы критерий оптимальности (зависящий от этих параметров) достигал своего экстремума (максимума или минимума) при ограничениях в форме равенств, неравенств и логических условий.

Под выражением «равенства, неравенства и логические условия» будем понимать совокупность уравнений (алгебраических, дифференциальных с обыкновенными или частными производными, интегральных, логических условий и т.п.), описывающих объект исследования при принятых исследователем допущениях, а также неравенств, ограничивающих интервалы как варьируемые переменные, так и ряд переменных, входящих в уравнения.

Наличие математической модели объекта позволяет осуществлять имитацию различных условий функционирования объекта, используя математические методы решения уравнений модели и средства современной вычислительной техники. При исследовании и проектировании технических систем уравнения математических моделей, как правило, носят нелинейный характер, имеют высокую размерность, то есть получение аналитического решения возможно только в простейших случаях. Чаще всего для решения уравнений математической модели используют различные модификации численных методов (методы Эйлера, Рунге–Кутты, конечных интегральных преобразований, конечных элементов, разностные схемы).

Часто математическая модель в окончательной постановке задачи используется только для имитационного моделирования, задача оптимизации при этом не решается. Суть имитационного моделирования заключается в исследовании различных характеристик процессов, протекающих в объекте, в целях выявления новых или уточнения ряда известных характеристик, не нашедших до настоящего времени отражения в конкретной предметной области.

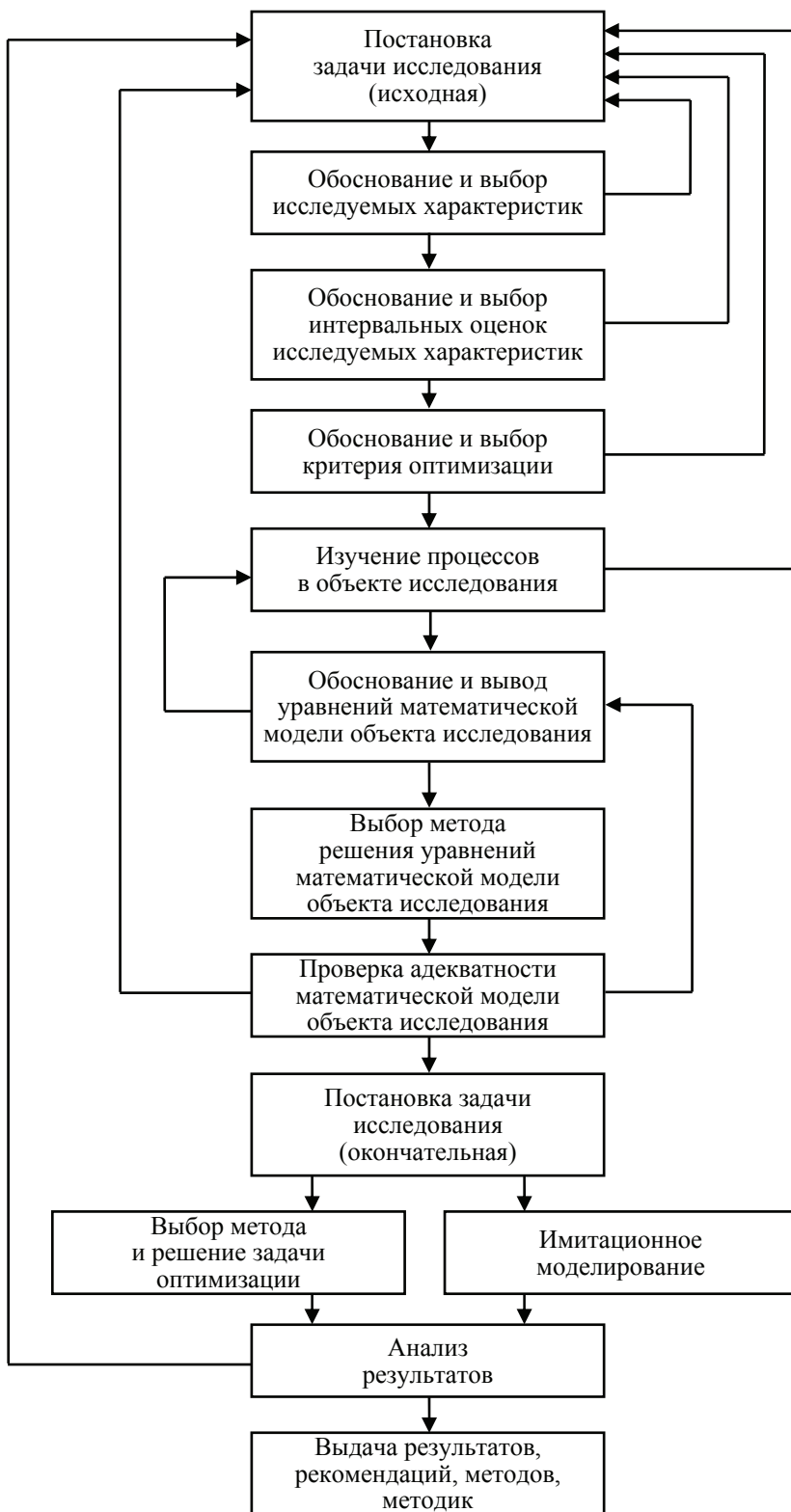
Следует также отметить, что применение математических методов, и, в частности метода математического моделирования, требуют от исследователя большого объема знаний как о процессах, протекающих в объекте исследования, так и о собственно математических и инструментальных методах.

Таким образом, в границах области определения, используя математическую модель исследуемого объекта, можно осуществлять имитацию реальных процессов, протекающих в объекте, задавая при этом различные сочетания искомых величин.

Упорядочивание имитационных процессов осуществляется с помощью теории оптимального управления, когда ставится цель получения самого лучшего, оптимального решения поставленной задачи.

Учитывая вышесказанное, структура исследований с применением математических методов может быть представлена блок-схемой (рисунок).

Постановка задачи исследования является определяющим этапом в исследовании и, в частности, применении математических и инструментальных методов в исследованиях технического характера. Процесс реализации постановки задачи в соответствии с блок-схемой уточняется, обрастает деталями вплоть до завершения идентификации математической модели исследуемого объекта и проверки ее адекватности. Следует отметить, что нередко в опубликованных исследованиях как раз такого раздела методологии применения математических методов и не хватает. Иногда только в конце проводимой работы удается осмыслить, что хотел сделать автор и насколько корректно он это делает.



Блок-схема исследований с применением математических методов

Поэтому постановка задачи обязательна, многоэтапна, в значительной степени определяет все последующие действия, в частности, какая должна быть математическая модель объекта, какова ее область определения, какие математические методы используются для решения уравнений модели, какие методы используются для поиска оптимального решения поставленной задачи, какие цели ставятся при имитационном моделировании.

Наиболее распространенная ошибка исследователя заключается в следующем: «предложена математическая модель...», и ни слова о том, для каких целей эта модель используется, какова ее область определения, адекватна ли она объекту исследования и что из себя представляет этот объект, какие процессы в нем протекают, почему некоторые процессы не отражены в математической модели и т.п.

Совершенно ясно, что в такой ситуации какие-либо действия с использованием математического моделирования приводят к некорректным результатам, а часто и просто к ошибкам.

Ситуация применения математических методов осложняется тем, что все исследователи хотят быть на современном уровне использования как средств вычислительной техники и специализированных программных средств, так и собственно математических методов: теории математического моделирования, решения экстремальных задач, теории системного анализа. Если к этому добавить знания в прикладной области, то вырисовывается картина, которая требует высокой подготовленности исследователя.

Декомпозиция глобальной задачи исследования

Постановка и решение достаточно сложных задач исследования и проектирования технической системы осуществляется с применением метода декомпозиции и использования в дальнейшем методологии системного анализа.

Процесс декомпозиции основан на разделении исходной (глобальной) задачи исследования на множество взаимосвязанных локальных задач, совместное решение которых должно обеспечивать экстремальное значение критерия оптимальности глобальной задачи.

Декомпозиция глобальной задачи целиком зависит от исследователя, основывается на опыте предшественников, функциональной завершенности, получаемых в результате декомпозиции задач, наличия исполнителей и ряда других факторов.

При декомпозиции не следует «мельчить», каждая локальная задача должна быть логически обоснована и на стадии решения каждой задачи результат должен быть функционально обоснованным.

При этом каждая из рассмотренных задач может быть поставлена как экстремальная, однако, на входе каждой задачи будет фиксированный сигнал (сигналы), значение которого нужно всегда учитывать при решении экстремальной задачи. Этот сигнал передает информацию о том, что решаемая задача является зависимой от других задач системы. Наиболее наглядно этот факт просматривается в системе задач, получаемых после декомпозиции, когда ее результат представлен в виде иерархической многоуровневой системы. Часто декомпозицию приходится уточнять, «укрупняя» или наоборот «уменьшая» локальные задачи системы. Во всех ситуа-

циях эти функции лежат на исследователе (проектировщике), который выполняет роль системного аналитика. Следует отметить, что правомерность декомпозиции не может быть получена путем строгого доказательства. Доказательством правомерности принятой декомпозиции является получение согласованных между собой решений локальных задач системы, обеспечивающих экстремальное значение глобального критерия оптимизации. Еще раз подчеркивая, что декомпозиция полностью определяется исследователем, можно предположить о наличии задач, которые при подаче на ее вход исходных данных однозначно выдают конечный результат. Так же не обязательно получать после декомпозиции систему задач в виде многоуровневой иерархической системы. Система задач может быть представлена в форме блок-схемы.

Таким образом, после декомпозиции глобальной задачи исследователь получает систему взаимосвязанных локальных задач, для каждой из которых нужно определить искомые параметры, интервальные оценки их применения, построить математическую модель локального объекта исследования, адекватную этому объекту, осуществить формализованную постановку задачи исследования, выбрать метод и осуществить ее решение.

Математическое моделирование технической системы

Этому разделу предшествует постановка задачи исследования объекта, анализ входных и выходных координат и их интервальных оценок, а также методика оценки численных значений выходных координат.

Математическую модель объекта можно представить в виде некоторого оператора, отображающего входные координаты объекта в выходные. В общем случае этот оператор может иметь вид алгебраических, дифференциальных, интегральных математических форм, являться непрерывным, принимать дискретные значения, быть кусочно-постоянным, логическим и т.п. Вид, структура, коэффициенты оператора полностью определяются, с одной стороны, глубиной проработки процессов, протекающих в объекте исследования, с другой, – постановкой задачи исследования, когда исследователь, принимая те или иные допущения, решает, насколько точно нужно описывать каждый процесс и нужно ли его учитывать вообще.

Основной отличительной чертой математического моделирования является перевод моделируемых в объекте исследования процессов в другое временное пространство, где скорость протекания реальных процессов в объекте исследования соизмерима со скоростью решения математических форм (уравнений, неравенств, логических условий и т.п.), составляющих математическую модель объекта.

Уход в другое временное пространство и, как следствие, получение значительного количества «свободного» времени, которое исследователь использует для анализа различных ситуаций по режимному и конструктивному оформлению протекания процессов в технической системе, является основным достоинством метода математического моделирования. Кроме этого, применение математического моделирования не требует материальных, сырьевых, энергетических затрат, как это бывает при реализации (физическом моделировании) процессов в объекте исследования.

Здесь возникает ряд вопросов: если все так хорошо при реализации метода математического моделирования, почему этот метод применяется в полной мере не так уж часто, почему при его применении выявляется множество некорректных действий исследователя и почему результаты, получаемые с «благими» намерениями, зачастую являются ошибочными.

Выясняется следующая ситуация. Ответ на вышеперечисленные вопросы прост и однозначен – у исследователя нет необходимых для применения метода математического моделирования знаний (всех или части). Ситуация осложняется еще и тем, что глубина проработки кинетических закономерностей процессов в объекте исследования в конкретной прикладной области для конкретной постановки задачи может быть недостаточной или отсутствовать вообще. В этом случае этап построения математической модели объекта совмещается с изучением (уточнением) кинетических закономерностей процессов, протекающих в объекте – кинетического механизма, выражений для скоростей протекания процессов по маршрутам кинетического механизма, в которые в явной форме входят режимные и конструктивные характеристики исследуемой (проектируемой) технической системы. В идеале в кинетические уравнения должны входить только режимные характеристики. Примером тому может служить химия, где в соответствии с законом действующих масс и уравнением Аррениуса скорость химической реакции зависит только от температуры и концентрации реагентов и инвариантна к конструкции технологического оборудования.

В ряде других прикладных областей оценку кинетических процессов, протекающих в объекте исследования, осуществляют на экспериментальных установках с фиксированными конструктивными характеристиками, которые в явной или неявной формах входят в кинетические уравнения. Естественно, что такие кинетические выражения сужают область определения разрабатываемой математической модели и должны четко отслеживаться исследователем.

Следует отметить, что процесс построения математической модели объекта исследования наиболее трудоемок и ответственен при исследовании и проектировании технических систем. Именно на этом этапе исследователем допускаются просчеты, которые могут существенно исказить искомые характеристики технической системы.

Решение уравнений модели

В зависимости от того, что из себя представляет объект исследования и какова постановка задачи, уравнения математической модели могут быть системой алгебраических, дифференциальных с обыкновенными или частными производными, интегральных уравнений, системой логических условий в форме булевой алгебры и т.п., быть линейными или нелинейными, иметь высокую размерность, быть представленными в форме задачи Коши или краевой задачи. Словом, набор математических форм чрезвычайно разнообразен. И несмотря на это, есть один показатель, общий почти для всех форм моделирования технических объектов – аналитическое решение систем уравнений математической модели возможно только в простейших случаях.

Как правило, исследователям крайне редко приходится разрабатывать собственные программные продукты для решения уравнений математических моделей. Существуют стандартные программные продукты ведущих мировых фирм, предлагающие хорошо отработанные программно-математические комплексы для решения различных видов систем нелинейных уравнений высокой размерности. Так что неразрешимые проблемы в этом плане у исследователя могут возникнуть крайне редко. С учетом последнего можно считать, что исследователь всегда может подобрать стандартный метод решения уравнений математической модели объекта исследования.

Здесь стоит задать вопрос: «А можно ли называть математической моделью ту систему уравнений, которую создал исследователь для конкретной постановки задачи, выбрал метод решения уравнений модели и довел его до практической реализации?»

Строго говоря, несмотря на то что модель «заработала», ее можно называть только гипотетической математической моделью объекта исследования. А освободиться от названия «гипотетической» можно только после того, как будет доказано, что математическая модель в области ее определения адекватна объекту моделирования. Другими словами – математическая модель пригодна для решения поставленной задачи. И еще более точная формулировка: для любых сочетаний режимных и конструктивных характеристик проектируемого (исследуемого) объекта, математическая модель должна воспроизводить поведение реального объекта с заданной точностью для конкретной постановки задачи, а «любые сочетания» конструктивных и режимных характеристик объекта определяются интервальными оценками, которые задаются исследователем для каждого искомого параметра.

Решение поставленной задачи

Решению вариационных задач и задач математического программирования посвящено много работ. Можно просто осмысленно выбрать какой-либо метод для решения поставленной задачи. Решение несколько усложняется, когда исследователь имеет дело с системой взаимосвязанных задач, когда возникает необходимость многократного решения задач системы в процедуре итерационного процесса.

Для решения вариационных задач возможно применение классических вариационных методов, а также динамического программирования Беллмана, принципа максимума Понтрягина, «блуждающей трубки» Моисеева, прямых вариационных методов. Для решения задач математического программирования применяют различные градиентные, безградиентные методы, методы случайного поиска, перебора и т.д.

Реальное применение этих методов становится все более возможным при применении многопроцессорных вычислительных комплексов и идеологии параллельных вычислений. При этом возможность получения высокой скорости вычислений сдвигает ситуацию в сторону применения более простых методов решения экстремальных задач. При решении вариационных задач – это прямые вариационные методы, а при решении задач математического программирования – методы перебора.

Заключение

Подводя итог обсуждения применения математических методов в технике и технологиях, следует отметить, что основные трудности реального использования заключаются не в их отсутствии или недостаточной проработке, а в слабой изученности процессов в объектах и отсутствии проектных и исследовательских организаций прикладного характера с современным высококвалифицированным персоналом. Следует также отметить, что применение математических методов в технических сферах деятельности человека значительно опережает аналогичный подход в других сферах.

Список литературы

1. Малыгин, Е.Н. Проектирование гибких производственных систем в химической промышленности / Е.Н. Малыгин, С.В. Мищенко // Журн. Всесоюз. хим. общества им. Д.И. Менделеева. – 1987. – № 3. – С. 293–300.
2. Проектирование гибких автоматизированных производственных систем : учеб. пособие / Е.Н. Малыгин [и др.]. – М. : Машиностроение, 2000. – 112 с.
3. Малыгин, Е.Н. Математическая модель функционирования многопродуктовых химико-технологических систем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Теорет. основы хим. технологии. – 2005. – № 4. – С. 455–465.
4. Малыгин, Е.Н. Методология автоматизированного проектирования технических систем с изменяемым ассортиментом продукции / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-т. – 2008. – № 4. – С. 778–788.
5. Малыгин, Е.Н. Методика теплового расчета нагревательных плит прессов для изготовления резинотехнических изделий / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.С. Крушатин // Хим. пром-сть сегодня. – 2009. – № 11. – С. 48–56.

Mathematical Methods in Engineering and Technology. Methodology. Problems

E.N. Malygin

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: constructive and performance characteristics; mathematical model; object of research or design; systematic approach.

Abstract: The paper studies the methodology of decision-making in design and analysis of technical systems.

© Е.Н. Малыгин, 2013