

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Мы живём в эру математического моделирования. В настоящее время математическое моделирование вступает в принципиально важный этап своего развития, встраиваясь в структуру информационного общественного пространства. Приходит понимание того, что «сырая информация» обычно мало что дает для анализа и прогноза, для принятия решений, контроля за работоспособностью и обеспечения безопасности. Нужны надежные способы переработки информационного сырья в готовый продукт — сведения, позволяющие оптимизировать решение общественно важных задач.

Наиболее ярким из доказательств наступления эры математического моделирования являются события по изменению принципа определений основных единиц измерения, состоящего в замене опирающихся на чувственные эталоны измерения фиксацией входящих в математические модели значений универсальных физических констант. Процесс замены начался с модернизации определения метра, как наиболее контролепригодной единицы измерения. В результате процесса произошёл переход от опирающегося на экспериментальное сравнение с макроскопическими пространственными эталонами определение метра к его расчёту через количественное математическое описание распространения электромагнитных волн в пространстве, возможности измерения параметров подверженных минимальной дестабилизации периода этих колебаний и фиксацию скорости света как универсальной физической константы. Переход от прямых измерений метра к его расчёту не только утвердил новое определение метра как предпочтительное, но и создал прецедент для применения принципа на остальные единицы измерения, который завершился принятием Генеральной конференцией по мерам и весам новых определений СИ и её основных единиц, вступившим в силу в 2019 г.

По математическому моделированию издано достаточно много литературы, однако, для обучающихся по направлению «Приборостроение» нужен специальный подход в изложении материала, направленный на рассмотрение прикладных исследовательских вопросов моделирования приборных систем в области обеспечения горной и промышленной безопасности.

**Приборная система** (от англ. Safety instrumented systems) — система контроля и управления, которая используется для выполнения функций контроля, диагностики и управления процессами с соблюдением необходимых требований безопасности и состоит из датчиков, логических устройств и исполнительных элементов.

## Моделирование как метод познания

«Всякое знание, не являющееся непосредственным продуктом наблюдения или результатом выводов, полученных из наблюдений, не имеет никакого значения и вполне призрачно»  
Ж.Б. Ламарк

«Всё наше достоинство заключено в мысли. Не пространство и не время, которых мы не можем заполнить, возвышают нас, а именно она, наша мысль. Будем же учиться хорошо мыслить: вот основной принцип морали»  
Б. Паскаль

«Модель — это единственное, чем мы обладаем»  
Автор

Трудно ли создать приборную систему? А прибор? А узел? А деталь? Что сложнее, и есть ли между процессами создания хоть что-нибудь общее? Есть! И, в первую очередь, это необходимость воображения, формирования мыслительного образа создаваемого объекта в виде условных схем, чертежей, таблиц, формул, определённых алгоритмов расчёта и реализующих их компьютерных программ с количественным значением характеризующих объект параметров.

Любой, даже самый развитый мыслительный образ содержит только некоторые стороны бесконечно сложного реального объекта. Выделение этих сторон из этого объекта, их увязывание в единый образ и его дальнейшее распознавание происходят с различной степенью осознания. Рационально построенный мыслительный образ реального объекта называется *моделью*, которая, таким образом, представляет собой идеализированное, условное и упрощенное изображение реального объекта, содержащее только некоторые наиболее существенные его стороны. «Под моделью мы будем понимать упрощенное, если угодно, упакованное знание, несущее вполне определенную, ограниченную информацию о предмете (явлении), отражающее те или иные его свойства. Модель можно рассматривать как специальную форму кодирования информации. В отличие от обычного кодирования, когда известна вся исходная информация, и мы лишь переводим ее на другой язык. модель, какой бы язык она не использовала, кодирует и ту информацию, которую люди еще не знали. Можно сказать, что модель **содержит в себе потенциальное знание**, которое человек, исследуя ее, может приобрести, сделать наглядным и использовать в своих практических нуждах» Н. Н. Моисеев.

Исследование реальных явлений, процессов или объектов путём построения и изучения таких моделей называется *моделированием*. **Моделирование** — одна из основных категорий теории познания. С моделированием связана речь и письменность людей, увязывающих единичные звуки, слова в выражающие сообщения или определения синтаксически и интонационно оформленные конструкции (предложения). Моделирование необходимо для эффективного решения реальных задач, поскольку оно снижает неопределенность бесконечно

сложного реального объекта, указывает путь оптимизации, являясь основой информационных технологий.

При всей индивидуальности и неповторимости мыслительного процесса ему присущи общие свойства. Познание объективного мира проходит по определенному алгоритму, содержащему общие этапы: ощущений, восприятий, представлений, понятий, суждений и умозаключений. Поиск решения любой задачи можно схематизировать, выделив общие этапы решения задачи: формулировки её условий, выделения основных сторон объекта, построения его модели, определения параметров модели и анализа полученного результата. На первых этапах происходит анализ проблемы — разделение на части, обособление от некоторых несущественных сторон, свойств или связей реального объекта (абстрагирование, мысленное отвлечение) и выделение существенных (конкретизация), на последних этапах решения производится синтез вариантов решения, проверка их на соответствие поставленной задаче и выбор оптимального варианта.

## Основные определения и классификация моделей

*«Очевидно, не существует классификации мира, которая не была бы произвольной и проблематичной. Причина весьма проста: мы не знаем, что такое мир...»*

*Хорхе Луис Борхес*

*«В действительности вообще нет никаких строго проведенных межей и граней к великой горести всех систематиков»*

*А.И. Герцен*

Бурное развитие и активное использование методов моделирования привело к созданию огромного количества моделей в различных предметных областях. И хотя каждая модель создается для решения конкретной задачи и, следовательно, является уникальной, наличие общих черт позволяет сгруппировать все их многообразие в отдельные классы, что облегчает их разработку и изучение.

Классификация моделей возможна по ряду признаков: назначению, закону изменения выходных переменных модели, способу материальной реализации и др. Очевидным признаком классификации моделей является отрасль знаний, или область их практического применения. Как правило, в каждой отрасли имеется ряд типовых задач, для решения которых используют методы моделирования. Создаваемые детали, узлы, конструкции, приборы и системы бесконечно разнообразны. В процессе их проектирования, изготовления и эксплуатации используются обобщённые модели материала, формы, физических процессов, предельного состояния, схемы деталей, узлов, машин, конструкций, технологических и рабочих процессов, приборов и приборных систем. Эти модели различаются по степени абстрагирования и обобщённости, полноте отображения причинно-следственных связей между факторами, информативности (степени снижения неопределённости), уровню сложности и другим признакам, количество которых весьма велико.

Использование моделирования на эмпирическом и теоретическом уровнях исследования приводит к делению моделей на **материальные и идеальные**.

**Материальное моделирование** — это моделирование, при котором исследование объекта происходит с использованием его материального аналога воспроизводящего основные физические, геометрические, динамические и функциональные характеристики данного объекта. Основными разновидностями материального моделирования является **натурное и аналоговое**.

**Натурное моделирование** — это такое моделирование, при котором реальному объекту ставится в соответствие его увеличенный или уменьшенный материальный аналог, допускающий исследование с помощью последующего перенесения свойств изучаемых процессов и явлений с модели на объект на основе теории подобия.

**Аналоговое моделирование** — это моделирование, основанное на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но одинаково описываемых формально (одними и теми же математическими соотношениями, логическими и структурными схемами). Фактически процесс исследования моделей данного типа сводится к проведению ряда натурных экспериментов, где вместо реального объекта используется его физическая или аналоговая модель.

**Идеальное моделирование** отличается от материального тем, что оно основано не на материализованной аналогии объекта и модели, а на аналогии идеальной, мыслимой и всегда носит теоретический характер. Виды идеального моделирования:

— **интуитивное** — моделирование объектов, не поддающихся формализации или не нуждающихся в ней. Жизненный опыт человека можно считать его интуитивной моделью окружающего мира;

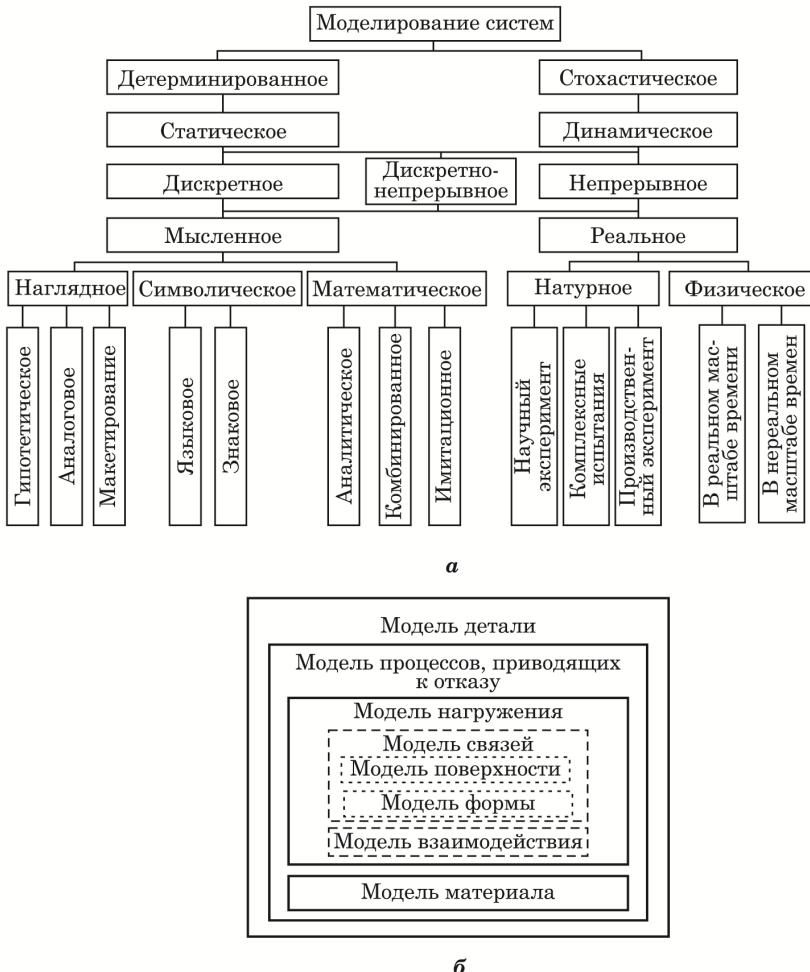
— **знаковое** — моделирование, использующее в качестве моделей знаковые преобразования разного вида: схемы, графики, чертежи, формулы и т. д. и содержащее совокупность законов, по которым можно оперировать с элементами модели.

**По степени сложности** модели разбивают **на уровни**. Модели нулевого уровня (как правило, функциональные) получены при начальном осмыслиении на основе имеющегося опыта эксплуатации, первого уровня — на основе простейших понятий и теорий (например, прочностные теории курса «сопротивление материалов»). Модели более высоких уровней формируются на основе более подробных и точных теорий и гипотез (физики твёрдого тела, упругости, прочности, пластичности, механики деформируемого твёрдого тела, механики и микромеханики разрушения).

**По степени обобщённости** модели деталей, узлов, приборов и систем разделяются **на классы**. Каждая модель включается как составная часть в модель более высокого класса (принцип иерархичности, рис. 1.1).

Модель детали прибора входит в модель узла, которая, в свою очередь, включается в модель всего прибора, которая также входит в модель приборной системы. В модель детали входят модели связей, процессов, приводящих к от-

казу, модель материала, модель формы, модель нагружения, модель взаимодействия. Рассмотрим некоторые из них.



**Рис. 1.1**

Классификация видов моделирования (а)  
и принцип иерархии при моделировании приборных систем (б)

**Модель материала.** В проектных расчётах материал детали или конструкции моделируют упрощённо в виде сплошного тела. Определяющая функцию способность материала сопротивляться разрушению или деформированию определяется процессами роста поврежденности материала или движения дислокаций, а конечное разрушение (распад тела на части) происходит в момент, когда поврежденность достигнет критической величины. Для описания свойств и прогнозирования поведения реального объекта материал рассматривается уже в виде совокупности связанных между собой структурных элементов (например, зёрен с различным образом ориентированной в пространстве кристаллической решёт-

кой), свойства и состояния которых в общем случае не одинаковы. Учёт всех этих факторов усложняет расчёты, требует специальных экспериментальных исследований, отсутствие которых приводит к неопределённости решения поэтому в проектных расчётах материал моделируют упрощённо, абстрагируясь от его структуры и рассматривая его как сплошную среду.

**Модель формы.** Обычно форма деталей машин сложна для детального математического описания. Поэтому в расчётной практике форму деталей упрощают, представляя деталь в виде бруса, стержня, цилиндра, балки, пластины, оболочки, массива и пользуясь решениями уравнений механики сплошных сред, полученными в рамках курса «сопротивление материалов». Практика расчётов показывает, что для приближённой оценки напряжённо-деформируемого состояния деталей вдали от концентраторов напряжений такая схематизация формы даёт вполне приемлемые результаты. Вблизи же концентратора напряжения ошибки в расчёте напряжений могут быть значительными, что особенно оказывается при работе деталей машин в условиях циклического нагружения и при определении ресурса. Таким образом, схематизация формы зависит от того, что, в конечном счете, определяется: перемещение, напряжение, ресурс или др.

**Модель нагружения.** Находясь в составе машин и механизмов, детали взаимодействуют друг с другом. Помимо сосредоточенных нагрузок, действующих в сопряжениях деталей, детали подвергаются воздействию ещё и объёмных (распределённых по объёму) сил (сил тяжести, инерции). Схематизация нагрузок — важнейший этап в проектировании и оценке работоспособности деталей. Общих рецептов здесь не существует. Всё определяется характером решаемых задач, требуемой точностью расчётов и их математическим обеспечением (памятью и быстродействием ЭВМ, наличием соответствующего программного обеспечения), сроками проектирования и рядом других обстоятельств. Рекомендации по схематизации нагрузок обычно приводятся в разделах по расчёту конкретных деталей и узлов машин. Например, в природе не существует сосредоточенных сил как таковых. При контакте твёрдых тел нагрузка передаётся по некоторой площади, а, следовательно, она всегда распределена. Закон распределения нагрузок определяется величиной нагрузки, геометрией контактирующих деталей, их податливостью, прирабатываемостью поверхностей при относительном перемещении деталей и рядом других факторов. Чем меньше площадь поверхности, по которой распределена нагрузка, и чем больше расстояние от неё до места определения внутренних силовых факторов или напряжений, тем корректней представить её в виде сосредоточенной силы (принцип Сен-Венана).

**Модели контактного взаимодействия деталей.** Задачи контактного взаимодействия деталей, или так называемые контактные задачи, являются одними из самых сложных в механике сплошных сред. Это обусловлено, прежде всего, сложностью определения реальной площади контакта, учёта влияния на величину контактных напряжений волнистости и шероховатости поверхностей, сил трения, смазочных материалов и других факторов.

Учитывая исключительную сложность моделирования контактного взаимодействия тел, в инженерных расчётах широко используют лишь их упрощен-

ные модели. Зачастую это существенно снижает точность расчётов и требует корректировки входящих в математические модели параметров, в частности значений допускаемых контактных напряжений.

**Модели процессов**, приводящих к отказу, входят в модель детали, как модели высшего иерархического уровня. К построению этих моделей переходят после обоснованного выбора или построения моделей формы, связей, взаимодействия, материала и нагружения.

**Модели разрушения** используются, когда основным критерием работоспособности является **прочность** — способность сопротивляться этому разрушению. Модели разрушения включают в себя модели связей, материала, формы, нагружения. Оценка прочности в инженерных расчётах производится на основе представлений о разрушении, как единовременном акте разделения тела на части в момент возникновения предельного состояния. О состоянии детали судят по результатам сопоставления значений определяемых в различных точках детали напряжений с допускаемыми напряжениями. Наиболее просто эта задача решается при таких видах нагружения, когда предельные напряжения могут быть определены экспериментально (предел текучести, предел прочности, предел выносливости). При сложном напряжённом состоянии или нерегулярных режимах нагружения вводятся гипотезы о преимущественном влиянии на прочность материала того или иного фактора, **эквивалентных напряжениях**, суммирования повреждений, выбирается **критерий прочности** (критерий предельного напряжённо-деформированного состояния).

**Модели деформирования.** Модели деформирования, как и разрушения, включают в себя модели связей, материала, формы, нагружения. Деформирование выражается перемещением отдельных точек или сечений детали и связывается с нагрузением, **податливостью** детали (способностью изменять форму или размеры под действием внешних сил), её **жёсткостью и устойчивостью** (способностью сопротивляться изменениям формы и размеров), которые, в свою очередь, определяются геометрическими характеристиками и характеристиками упругости материала. При проектировании деталей машин принимается допущение об упругом деформировании. Модели деформирования применяют при анализе работы сопряжённых деталей (например, качества зацепления зубчатых колёс, условий работы подшипников при больших деформациях валов, проверке устойчивости винтов передач винт-гайка), анализе технологических процессов.

**Модели изнашивания.** Используются, когда основным критерием работоспособности детали является **износстойкость** — способность сопротивляться процессу изнашивания, то есть разрушения и отделения материала с поверхности твёрдого тела или накопления его остаточной деформации при трении. Построение моделей изнашивания является предметом **триботехники** — науки о контактном взаимодействии твёрдых тел при их относительном смещении. При построении моделей этого сложного явления учитываются механические, теплофизические, физико-химические и электрохимические процессы, которые приводят к различным видам изнашивания. Учитываются физико-механические свойства контактирующих тел, кинематические и динамические

параметры контакта (нагрузки, давления и их временные зависимости, размеры, формы контактирующих поверхностей, значения величины и скорости смещений и др.), гидравлические и фрикционные параметры смазочного материала, внешняя среда.

По степени абстрагирования модели естественнонаучных объектов делят на виды: *функциональные, физические и математические*. Абстрагирование происходит несколькими ступенями и начинается уже при постановке решаемой задачи. Применительно к задачам проектирования абстрагирование от несущественных сторон заканчивается конкретизацией назначения, структуры, характера движения, нагружения и взаимодействия элементов объекта, конструктивных особенностей, материалов, требований к надёжности, размерам, иногда стоимости, показателям технологичности, технической и экологической безопасности и производится при составлении технического задания.

Количество существенных сторон исследуемого объекта гораздо меньше количества свойств, которыми можно охарактеризовать реальный объект, что демонстрирует процедуру абстрагирования. В этом pragматичном упрощении реального объекта с позиции его назначения и состоит суть первой ступени абстрагирования, завершаемой построением *функциональной* модели (схемы) приборной системы или объекта контроля. Функциональная модель максимально информативна и уступает по степени снижения неопределённости в проблеме только формулировке цели и задач по её достижению. Следующая ступень абстрагирования, необходимая для оптимизации решения, связана с составлением *физической* модели объекта, когда выделенные функциональные свойства и факторы связываются с обобщёнными физическими факторами, физическими свойствами и закономерностями.

При достаточно подробном изучении эти закономерности поддаются количественному описанию в виде предельно конкретных математических выражений, переход к которым от физических моделей сопровождается преобразованием качественного описания в количественное с применением элементов формальной логики. В результате перехода составляется математическая модель объекта. *Математическая модель* — «вершина» абстрагирования, предельно формализованное количественное описание объекта в виде математических выражений (чисел, уравнений, неравенств и их систем, графиков, чертежей и пр.) посредством математических символов и критериев. (Само число появилось как результат абстрагирования от индивидуальности.) На этой «вершине» переходят к обработке модели и получают первый конкретный результат в виде определения численных значений одного или нескольких параметров математической модели, максимально повышая точность решения.

Различные схемы классификации математических моделей, их области применения, достоинства и недостатки приведены на рисунке 1.2 и в таблицах 1.1 и 1.2. В различных работах рассматриваются признаки классификации математических моделей *по назначению* (дескриптивные, оптимизационные, имитационные), *характеру уравнений* (линейные, нелинейные), *учету изменения системы во времени* (динамические, статические), *свойству области определения аргументов* (непрерывные, дискретные), *характеру процесса*

(детерминированные, стохастические). Для систематизации классификации нужно подойти с pragматической стороны. Нет ничего более практически важного, чем правильная теория, информативная модель.



Рис. 1.2

Классификация математических моделей  
в зависимости от параметров (а) и методов реализации (б)

Таблица 1.1

#### Некоторые методы моделирования

Метод	Описание	Область применения	Достоинства метода	Недостатки метода
Математическое моделирование	Составляется математический «эквивалент» процесса или объекта, отражающий его основные свойства	Любые процессы, поддающиеся математическому описанию	Широкая область применения	Зачастую достаточно сложно построить модель, адекватно учитывающую все факторы

Продолжение табл. 1.1

Метод	Описание	Область применения	Достоинства метода	Недостатки метода
Статистическое моделирование	Модель основывается на выявленных статистических закономерностях	Процессы, по которым можно собрать массив статистических данных	При наличии качественных данных метод точен и, при использовании специализированного ПО, прост в применении	Большие требования к статистическим данным
Экономико-математическое моделирование	Раздел включает в себя методы для решения экономических задач	Экономические процессы	Метод способен моделировать экономические процессы	
Имитационное моделирование	Изучаемая система заменяется моделью с достаточной точностью, описывающей реальную систему, с ней проводятся эксперименты с целью получения информации	Метод используется, когда долго или невозможно использовать реальную и/или аналитическую модель	Создается максимально приближенная к реальности модель, можно управлять временем системы и другими ее характеристиками	Сложность описания всех условий и требования вычислительной мощности
Физическое моделирование	Экспериментальное моделирование, основанное на физическом подобии уменьшенной в размерах модели	Применяется при невозможности применения аналитического метода или воспроизведения в реальном размере	Область применения, недоступная другим методам	Метод может дать надежные результаты лишь при соблюдении физического подобия модели
Натурное моделирование	Моделью является материально или мысленно представляемый объект, в достаточной степени повторяющий свойства, существенные для моделирования	Применяется для проведения ряда тестов над моделью. Примеры — различные этапы прототипирования на производстве	Возможность протестировать объект моделирования в реальных условиях	Затраты на создание модели могут быть высокими

Таблица 1.2

## Некоторые методы математического моделирования

Метод	Описание	Область применения	Достоинства метода	Недостатки метода
Линейное программирование	Составляется система линейных уравнений с необходимыми ограничениями. Типичные задачи — составление жидких смесей, распределение ресурсов	Не сложные линейные детерминированные задачи (с заранее точно известными результатами той или иной стратегии)	Простота, возможность быстро получить решение без применения ЭВМ. При адекватной постановке задачи обеспечивается необходимая точность решения	Узкий круг решаемых задач — лишь малая часть реальных процессов линейны, в других случаях возникает излишняя аппроксимация
Нелинейное программирование	Составляется система нелинейных уравнений с необходимыми ограничениями. Типичные задачи — управление производственным процессом, выручка от реализации продукции	Задачи с заданными нелинейными соотношениями переменных	Возможность задавать зависимости переменных — например, влияние объема продаж на цену	Сложность решения. Необходимость большого числа данных
Динамическое программирование	Как правило, составляется сетевая модель. Пример — модель распределения усилий	Многоэтапные задачи. Результатом решения задачи является рекуррентное выражение, выражающие шаги, которые следует принимать на любом этапе	Позволяет принимать правильное решение множество раз без вмешательства человека (на основе рекуррентного выражения) — то есть с помощью ЭВМ	Узкий круг решаемых задач, сложность составления рекуррентного выражения
Сетевые задачи	Сетевые задачи — частный случай задач линейного программирования. Для описания модели используется граф. Пример — транспортная задача	Сетевой метод удобен для графического описания оптимизационных задач и может применяться для сложных (тысячи переменных и сотни ограничений) задач	Графический механизм удобен для описания задач линейного программирования. Возможность учитывать при решении транспортной задачи сезонности, пропускной способности, переменной мощности поставщиков и т. п.	Большинство задач, решаемых данным методом, являются вариациями транспортной задачи
Вероятностные оптимизационные модели	Метод, учитывающий вероятностную компоненту. Включает в себя вероятностные модели управления запасами и системы массового обслуживания	Любые модели, для описания которых требуются случайные величины	Вместо излишнего усложнения модели вводятся вероятности событий, что позволяет решать сложные задачи, не решаемые другими методами	Сложность решения без ЭВМ

Метод	Описание	Область применения	Достоинства метода	Недостатки метода
Целочисленное программирование	Значительное число оптимизационных задач имеют ограничения в целочисленном решении. Для их решения нужны особые алгоритмы. Пример — задача коммивояжера	Круг задач, требующий целочисленного решения	Метод позволяет решать комбинированные задачи	Все недостатки решаемого класса задач
Имитационное моделирование	Применяется на ЭВМ. Стали широко распространены с ростом мощностей ЭВМ. Учитывая скорость расчетов, могут решать задачи практически любой сложности	Класс задач, не решаемый другими методами	Широкий круг решаемых задач	Сложность описания всех условий и требования вычислительной мощности

Модель нужна для того, чтобы:

- понять, как устроен конкретный объект: какова его структура, внутренние связи, основные свойства, законы развития, саморазвития и взаимодействия с окружающей средой;
- научиться управлять объектом или процессом, определять наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;
- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов и форм воздействия на объект. Модели, не обладающие определенной «предсказательностью», едва ли могут считаться удовлетворительными в научных исследованиях.

Активное участие в решении задач контроля и надзора предполагает необходимость использования моделей, пригодных для оценки их состояния, в первую очередь способность выполнять заданные функции (работоспособность) и сохранять эту способность определённое время (надёжность). **Наиболее практически ценными представляются диагностические модели, пригодные для долгосрочного прогнозирования поведения технических объектов в будущем, оценки ресурса объекта контроля.** Способность такой оценки должна рассматриваться, как **критерий оптимизации** математических моделей приборов и систем, а классифицируя модели по этому **информационно-прогностическому критерию** следует различать следующее.

1. Статистические модели (регрессионные, корреляционные и др.) — количественно описывают связи между случайными величинами без раскрытия качества (физической сути) этой связи. В настоящее время получили наибольшее распространение в областях техники, характеризуемых опережающим развитием экспериментальных методов исследования и возможностью их автоматизации.

2. Эвристические модели — логико-интуитивные, логически законченные, однако существенно некорректные, полученные, чаще всего, при первом, поверхностном осмыслиении имеющихся количественных связей между ранее кажущимися несвязанными факторами — основы политических социальных и астрологических прогнозов.

3. Детерминированные модели (рассматривают взаимосвязь наиболее существенных, как правило, небольшого количества факторов с установлением границ её приемлемости) — широко используются в областях традиционной классической физики, механики сплошных сред, жидкости и газа, деформируемого твёрдого тела, термодинамике, созданных в «некомпьютерные» времена, и методиках расчёта, основанных на их закономерностях (например, метод коначных элементов).

4. Детерминированно-статистические математические модели, которые одновременно описывают закономерно повторяющуюся и случайную составляющие взаимосвязи большого количества факторов. Основа современных интеллектуальных технологий, обладающих повышенной обобщающей способностью за счёт широкой структурно-статистической вариативности. Разделяются на:

— эмпирически модифицированные детерминированные модели. Модификация детерминированных моделей производится с целью расширения границ приемлемости рассматриваемых функциональных и физических связей. Примером модификации является используемое при проектировании введение в формулы прочностного расчёта различных эмпирических коэффициентов нагрузки, долговечности, и т. д.;

— структурно-вероятностные модели (основаны на введении аналитического понятия микроэлемента структуры и универсальных физических наноконстант и положений молекулярной физики, статистической и квантовой механики, микромеханики, термодинамики, математической статистики). Эти модели позволяют физически обосновать выбор наиболее значимых факторов, определить границы их значимости, установить степень прогнозируемости исследуемого явления и вероятность прогноза. Используются при разработке технологических процессов и методов диагностирования.

На основе математического моделирования формулируется *принцип совершенствования диагностических технологий: снятие неопределённости должно производиться на основе описывающих реальный физический процесс математических моделей с универсальными физическими константами и представительными параметрами, измеряемыми с минимальной степенью неопределённости*.

## Построение математических моделей

Математические модели, особенно использующие численные методы и вычислительную технику, требуют для своего построения значительных интеллектуальных, финансовых и временных затрат. Поэтому решение о разработке новой модели принимается лишь в случае отсутствия иных, более про-

стых путей решения возникших проблем (например, модификации одной из существующих моделей). Если это решение все-таки принято, то порядок действий вытекает из методологии моделирования и связан с необходимостью формулировки цели и задач исследования, построения функциональной и физической моделей объекта. *Создание удачной новой модели — всегда крупное достижение соответствующей науки, а иногда и целый этап в её развитии.*

Любая математическая модель неизбежно представляет собой компромисс между бесконечной сложностью изучаемого явления и желаемой простотой его описания. Простая модель может получить существенную неадекватность, приводящую к ложному решению. Усложнение модели повышает степень её адекватности, но может привести к неопределённости параметров. Не информативная модель не позволяет получить однозначного результата и двигаться к завершению решения задачи.

Начало моделирования предполагает необходимость детального обследования объекта моделирования. Основной целью этапа обследования является подготовка содержательной постановки задачи моделирования и построение функциональной модели объекта исследования. Перечень сформулированных в содержательной (словесной) форме основных интересующих вопросов об объекте моделирования составляет содержательную постановку задачи функционального моделирования. Этап обследования включает следующие работы:

- тщательное обследование собственно объекта моделирования с целью выявления основных факторов, механизмов, влияющих на его поведение, определения соответствующих параметров, позволяющих описывать моделируемый объект;
- сбор и проверка имеющихся экспериментальных данных об объектах-аналогах, проведение при необходимости дополнительных экспериментов;
- аналитический обзор литературных источников, анализ и сравнение между собой построенных ранее моделей данного объекта (или подобных рассматриваемому объекту);
- анализ и обобщение всего накопленного материала, разработка общего плана создания математической модели.

Весь собранный в результате обследования материал о накопленных к данному моменту знаниях об объекте, содержательная постановка задачи моделирования, дополнительные требования к реализации модели и представлению результатов оформляются в виде технического задания на проектирование и разработку модели.

Построение модели — процедура итерационная, что обозначается обратными стрелочками на рисунке 1.3. Для минимизации количества итераций необходимо обосновывать каждый шаг как в разработке математических моделей, так и в их использовании для решения практических задач. Для этого рассмотрим принципы информационной оптимизации решения реальных задач и вытекающую из них *методологию информативного моделирования*.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)