Известно, что моделирование (в широком смысле) является основным методом исследований во всех областях знаний и научно-обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, используемых в различных сферах инженерной деятельности, в частности в машиностроении.

**Методологическая основа моделирования** состоит в упорядочении получения и обработки информации об объектах, которые существуют вне нашего сознания и взаимодействуют между собой и внешней средой. **Объект** (лат. objectum – предмет) – все то, на что может быть направлена человеческая деятельность.

В математическом моделировании большую роль играют следующие категории:

**Гипотеза** – определенное предсказание, основывающееся на небольшом количестве опытных данных, наблюдений, догадках. В ходе специально поставленного эксперимента может быть проведена быстрая и полная проверка выдвигаемых гипотез.

· **Аналогия** – суждение о каком-либо частном сходстве объектов, которое может быть существенным и несущественным. Причем понятия существенности и несущественности, сходства или различия объектов условны и относительны. Существенность сходства или различия зависит от уровня абстрагирования и определяется конечной целью проводимого исследования. Аналогия имеет большое значение в качестве метода суждения при формулировании и проверке правильности гипотез. **Модель** – (лат. modulus – мера) – это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала. Иными словами, **модели** – удобные для исследования логические схемы, построенные на основе гипотез и аналогий, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперименты, уточняющие природу явлений.

**Модель** – это физический или абстрактный образ моделируемого объекта, удобный для проведения исследований и позволяющий адекватно отображать интересующие исследователя физические свойства и характеристики объекта.

Это определение можно заменить более кратким эквивалентом:

**Модель есть системное отображение оригинала, на основании которого могут быть введены следующие дополнения:**

· **моделирование** – замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели путем проведения экспериментов над последней;

· **теория моделирования** – теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями).

Одной из важнейших характеристик в определении модели является ее **адекватность**, которая зависит от цели моделирования и принятых критериев. **Модель адекватна** объекту, если результаты моделирования подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования поведения технических объектов или процессов, протекающих в реальных исследуемых системах, с регламентируемой точностью, удовлетворяющей выбранному **критерию адекватности**.

При проектировании как сложной технической системы в целом, так и ее подсистем необходимо выполнить внешнее проектирование (**макропроектирование**) и внутреннее (**микропроектирование**). На указанных стадиях рассматриваются различные цели, что приводит к существенному различию используемых при этом методов и средств моделирования. На стадии **макропроектирования** должна быть разработана обобщенная модель процесса функционирования сложной системы, позволяющая разработчику получить ответы на вопросы об эффективности различных стратегий управления объектом при его взаимодействии с внешней средой. Стадию внешнего проектирования можно разбить на анализ и синтез. При анализе изучают объект управления, строят модель воздействий внешней среды, определяют критерии оценки эффективности, имеющиеся ресурсы, необходимые ограничения. Конечная цель стадии анализа – построение модели объекта управления для оценки его характеристик. При синтезе на этапе внешнего проектирования решаются задачи выбора стратегии управления на основе модели объекта моделирования, т.е. сложной системы.

На стадии **микропроектирования** разрабатывают модели с целью создания эффективных подсистем. Причем используемые методы и средства моделирования зависят от того, какие конкретно обеспечивающие подсистемы разрабатываются: информационные, математические, технические, программные и т.д.

**Современные методы и средства моделирования технических систем** неразрывно связаны с новыми достижениями в различных областях науки и техники, а в особенности с процессом совершенствования ЭВМ, сфера эксплуатации которых распространяется на все отрасли человеческой практики и стимулирует развитие новых теоретических и прикладных направлений, в том числе и в машиностроении.

Из методов моделирования можно выделить **аналитические и имитационные**:

· **аналитические методы** к исследованию системы (исторически первый) предусматривают использование ЭВМ в качестве вычислителя по аналитическим зависимостям. Анализ характеристик процессов при таком методе связан со значительными трудностями: возникает необходимость существенного упрощения модели на этапе их построения или в процессе работы с ней, что может привести к получению недостоверных результатов;

· **имитационные методы** основаны на оценке характеристик больших технических систем, представляемых в виде **имитационных моделей**, реализованных на современных ЭВМ с высоким быстродействием и большим объемом оперативной памяти;

· **"чисто машинные" методы –** новые методы решения задач исследования больших систем на основе реализации имитационных экспериментов с их моделями.

Однако при всем совершенстве применяемой вычислительной техники нельзя игнорировать тот факт, что в основу любой модели положено предварительное изучение явлений, лежащих в объекте-оригинале. Успех моделирования технической системы, как и любой другой, зависит в конечном счете от того, насколько **детально изучены реальные явления**, в объекте-оригинале.

В зависимости от специфики исследуемых объектов в ряде случаев эффективным оказывается моделирование на аналоговых вычислительных машинах (АВМ). При этом надо иметь в виду, что АВМ значительно уступают ЭВМ по точности и логическим возможностям, но по быстродействию, схемной простоте реализации, сопрягаемости с датчиками внешней информации АВМ превосходят ЭВМ или по крайней мере не уступают им.

Для сложных динамических объектов наиболее перспективным является моделирование на базе гибридных (аналого-цифровых) вычислительных комплексов. Такие комплексы реализуют преимущества цифрового и аналогового моделирования и позволяют наиболее эффективно использовать ресурсы ЭВМ и АВМ в составе единого комплекса. При использовании гибридных моделирующих комплексов упрощаются вопросы взаимодействия с датчиками, установленными на реальных объектах, что позволяет, в свою очередь, проводить комбинированное моделирование с использованием аналого-цифровой части модели и натурной части объекта.

В основе моделирования лежит **теория подобия**, которая утверждает, что абсолютное подобие может быть лишь при замене объекта другим, точно таким же. Как указывалось раньше, при моделировании стремятся к тому, чтобы модель достаточно хорошо отражала исследуемую сторону функционирования объекта, так как в этом случае абсолютного подобия нет. В соответствии с поставленной целью моделирования построенные модели различают по типу, своему назначению, а значит, и по выполняемым функциям, структуре и т.д.

Укрупненная классификация моделей по типу и свойствам, которая дает достаточно четкое представление об их главных отличительных чертах, показана на рис. 1.1.

**Рис. Классификация моделей по типам**

Рассмотрим их краткие характеристики и главные отличительные особенности.

**Материальные** (реже – вещественные, действующие, наглядные) модели – это некоторые материальные объекты или совокупность объектов, отражающие в той или иной степени свойства объекта моделирования. В зависимости от полноты и способа отражения этих свойств материальные модели подразделяются на три основных типа:

· **Геометрические** модели – представляют некоторый объект, геометрически подобный своему оригиналу, и дают внешнее представление об оригинале. Выполняются как в натуральную величину (модели отливок и др.), так и в уменьшенном масштабе (модель нового автомобиля, демонстрационная модель детали или агрегата машины и т.д.).

· **Физические** модели – отражают подобие между оригиналом и моделью не только с точки зрения их формы и геометрических соотношений, но и с позиций происходящих основных физических процессов. Необходимо помнить и всегда иметь в виду, что *физически подобными называются явления в геометрически подобных системах, в процессе функционирования которых отношения характеризующих их физических величин в сходственных точках составляют постоянную величину*. При физическом моделировании модель и объект моделирования всегда должны иметь одинаковую физическую природу. При изменении геометрических параметров при переходе от объекта-оригинала к модели должны соответственно изменяться и другие физические параметры, являющиеся входными или возбуждающими воздействиями.

**Предметно-математические** модели – предполагается лишь тождественность математического описания процессов в оригинале и модели (требование тождественности их физической природы снимается), хотя эти процессы и могут развиваться на совершенно различной материальной основе. В этом случае предметно-математическая модель представляет материальную систему, в которой происходят иные физические процессы, чем в оригинале, но и те, и другие могут быть описаны одинаковыми или подобными математическими выражениями.

2. **Идеальные** модели (**абстрактные концептуальные**) включают модели двух типов:

· **Мысленные** (умозрительные, интуитивные) – существуют в мыслях человека, воображаются человеком.

· **Логико-математические (формальные, знаковые, математи­ческие)** – представляют собой воплощение мысленных моделей в форму различных математических выражений (системы уравнений или неравенств с буквенными или численными коэффициентами, логические выражения, таблицы, матрицы, схемы, графики и др.) и других способов логического и математического описания исследуемых явлений и процессов. В принципе это не что иное, как математические модели.

В группе математических моделей, в свою очередь, выделяются подгруппы:

А. *Модели прямой аналогии*, в которых каждой физической величине оригинала сопоставляется в модели величина другого рода, изменяющаяся в пространстве и во времени сходным образом.

Б. *Структурные или операционные модели*, в которых математическое описание оригинала воспроизводят в виде совокупности отдельных операций, выполняемых соответствующими блоками.

В. *Цифровые модели*, в которых те же операции выполняются в цифровом виде, обычно последовательно одна за другой в общем процессоре.

Г. *Функциональные модели*, в которых воспроизводится только поведение, функция оригинала, но не его устройство, так что по описанию модель может быть не подобна натуре.

В машиностроении в последнее время широко используются относительно новые типы математических моделей:

· **Физико-аналитические модели** – представляют собой аналитические зависимости между входными факторами и выходными параметрами технологических и иных систем, полученные на основе анализа реально протекающих физических процессов и их аналитических описаний.

Наиболее ярким примером могут служить модели формирования параметров качества поверхностного слоя и процессов контактирования шероховатых поверхностей [10 и др.].

· **Физико-статистические модели** – представляют собой зависимости между входными параметрами технологических и иных систем, полученные статистическими методами (методами планирования эксперимента, множественного корреляционно- регрессионного анализа и др.), но факторы, включённые в исследование, имеют четкий физический смысл и являются реальными технологическими переменными. Такие модели не следует относить к типу эмпирических, так как они строятся на базе активного, а не пассивного эксперимента, т.е. с использованием кибернетического подхода, и не представляют собой процесс сглаживания результатов пассивных наблюдений, который осуществляется подбором подходящего уравнения, включающего то или иное число независимых переменных, не несущих на себе никакой нагрузки с точки зрения физики протекающих в реальной системе процессов. Такие модели строятся в том случае, когда физику протекающих процессов аналитически описать не представляется возможным. Однако на их основе возможно с достаточной надёжностью прогнозировать параметры качества поверхностного слоя (КПС) обрабатываемых деталей и др., формируемые в ходе обработки при заданных условиях, а также осуществлять процесс управления технологической системой, обеспечивающий получение параметров качества обработки в допустимых пределах с заданной надёжностью.

В общем случае математические модели связывают входные (независимые) переменные  исследуемого процесса, называемые входными факторами, или воздействиями, с выходными (зависимыми) характеристиками , которые обычно именуют **функциями отклика** (например, в технологических системах это параметры точности обработки, качества поверхностного слоя; энергозатраты, производительность и др.). Такие уравнения связи имеют вид:

Модели, отображающие случайный (стохастический) характер параметров и факторов системы, называются *статистическими,* или *стохастическими* в отличие от *детерминированных* (рис.1.2а), не учитывающих вероятностных характеристик процессов.

По мере уменьшения величины параметров  и  уравнение (1.6) приближается по структуре к уравнению (1.5), описывающему детерминированные системы.

Обычно детерминированные модели (1.5), представляющие собой систему уравнений, удается составить только в тех случаях, когда о процессах в описываемой системе имеются ясные физические представления и эти представления можно формализировать. В таких случаях говорят, что система представляет собой **«белый ящик»** – объект с известной структурой и функциями.

Однако получаемая таким образом модель может оказаться громоздкой, а ее информационное обеспечение весьма трудоемким. Поэтому часто используют статистические модели для описания детерминированных систем. В таких случаях рассматривают систему как **«черный ящик»** с неизвестной структурой, в котором доступны для изучения только контролируемые входные параметры  и измеримые выходные характеристики . Получив таблицу соответствий {  }, принимают их за случайную выборку из генеральной статистической совокупности {  }. Полученная статистическая модель при соответствующей интерпретации результатов позволяет раскрыть механизм, сделать «белыми» некоторые части устройства и функционирования «черного ящика».

Детерминированные модели могут также использоваться для описания стохастических систем, если объектом изучения являются их усредненные характеристики. Таким образом, статистические модели – это более широкий класс моделей, включающих детерминированные модели как предельный частный случай, в котором выходные параметры  однозначно определяются входными переменными .

Если доказано подобие натурных и моделирующих процессов, то можно говорить об *адекватности моделей*.

В зависимости от характера и пространственной структуры описываемых систем различаются модели с *распределенными* и *сосредоточенными параметрами*. В связи с различной интенсивностью моделируемых процессов во времени различают *статические модели*, описывающие установившиеся процессы вблизи состояния равновесия; *стационарные модели*, характеризуемые постоянством основных параметров во времени; *динамические модели* систем, в которых входной переменной процесса является время.

В зависимости от конкретного вида применяемого математического аппарата различают модели **матричные**, **сетевые**, **дифференциальные**, **интегральные**, **алгоритмические**, **программные** и др.

Кроме изложенной классификации моделей по типу, существует часто используемый вид классификации моделей по назначению. В этом плане их можно разбить на следующие:

1. ***Информационные (описательные)***, используемые в качестве обучающих или советующих систем, для изучения взаимного влияния факторов на выходные параметры, установления границ, в пределах которых достигается рациональный режим работы системы и т.д.

2. ***Оптимизационные***, используемые для поиска оптимальных условий протекания процесса в системе. В качестве оптимизационных могут применяться информационные модели, дополненные блоком оценки результата на основании целевой функции, с учетом налагаемых ограничений на изменение входных и выходных переменных.

3. ***Управления (регулирования)*** процессом, используемые для воздействия на систему в реальном масштабе времени с целью компенсации нежелательных случайных возмущений и смещения системы в направлении экстремального значения целевой функции. Такая модель может служить компонентом системы автоматического управления (регулирования).

4. ***Эвристические***, используемые для получения новых знаний и изучения механизма процессов на основе сопоставления результатов моделирования и натурных измерений, выдвижения и проверки новых гипотез о структуре взаимосвязей между факторами, введения дополнительных факторов в модель и т.д.