**ВВЕДЕНИЕ**

При создании и проектировании сложных систем возникают многочисленные задачи, требующие знаний количественных и качественных закономерностей, свойственных рассматриваемым системам. Особенное значение приобрели так называемые *общесистемные* вопросы, относящиеся к общей структуре системы, организации взаимодействия между ее элементами, совокупному взаимодействию элементов с внешней средой, централизованному управлению функционированием элементов и т.д. Эти вопросы составляют существо так называемого системного подхода к изучению свойств реальных объектов и содержание направления, получившего название *системотехника*.

Наиболее полное и всестороннее исследование сложной системы на всех этапах разработки, начиная с этапа постановки задачи, подготовки технического задания и заканчивая внедрением системы в эксплуатацию, невозможно без методов моделирования. Именно моделирование является средством, позволяющим без капитальных затрат решить проблемы построения больших систем.

***Модель — это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.***

Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели называется *моделированием.*

***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****.* Если результаты моделирования подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования процессов, протекающих в исследуемых объектах, то говорят, что модель адекватна объекту.

Термин «Математическое моделирование» пока не имеет общепринятого формального (как это положено в математике) определения, и его границы в смысловом отношении еще четко не очерчены. Такая ситуация характерна для любого нового научного направления на стадии его становления и быстрого развития. С достаточно общих позиций математическое моделирование можно рассматривать как один из методов познания реального мира в период формирования так называемого информационного общества, как интеллектуальное ядро быстро развивающихся информационных технологий. Особенность математического моделирования состоит в том, что абстрактным отражением существующего или создаваемого объекта является его математическая модель, количественный анализ которой позволяет получить новые знания об этом объекте.

Под математическим моделированием в технике понимают адекватную замену исследуемого технического устройства или процесса соответствующей математической моделью и ее последующее изучение методами вычислительной математики с привлечением средств современной вычислительной техники. Поскольку такое изучение математической модели можно рассматривать как проведение эксперимента на ЭВМ при помощи вычислительно-логических алгоритмов, то в научно- технической литературе термин вычислительный эксперимент часто выступает как синоним термина „математическое моделирование".

Математическое моделирование тесно связано с инженерной практикой, опирается на достижения классической и вычислительной математики, активно использует сведения из естественно-научных дисциплин, предполагает уверенное владение вычислительной техникой и программированием на ЭВМ.

Поэтому и для инженера любой специальности математическое моделирование — инструмент, творческое применение которого может способствовать прогрессу в любой отрасли техники.

# Тема 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ.

**1.1. Моделирование и технический прогресс**

На пути реализации в технике наиболее перспективных научных открытий и разработок обычно стоят препятствия, связанные с отсутствием или ограниченными возможностями конструкционных или функциональных материалов и с недостаточностью достигнутого технологического уровня. Поэтому процесс реализации научных и технических идей — это процесс поиска разумного компромисса между желаемым и возможным. При создании технических устройств и систем различного назначения обычно рассматривают несколько возможных вариантов проектных решений, ведущих к намеченной цели. Эти варианты принято называть альтернативами. Учет противоречивых требований и поиск компромисса в решении комплекса возникающих при этом взаимосвязанных проблем предполагают наличие достаточно полной и достоверной количественной информации об основных параметрах, которые характеризуют возможные для выбора альтернативы.

В складывавшейся десятилетиями последовательности основных этапов разработки технических устройств некоторый начальный объем необходимой информации формировался путем так называемых проектировочных расчетов, степень достоверности которых должна была обеспечивать лишь довольно грубый отбор альтернатив. Основная часть необходимой для принятия окончательного решения количественной информации (как по степени подробности, так и по уровню достоверности) формировалась на стадии экспериментальной отработки технических устройств. По мере их усложнения и удорожания проектировочных расчетов стала расти.

Возникла необходимость в повышении достоверности таких расчетов, обеспечивающей более обоснованный отбор альтернатив на начальной стадии проектирования

Развитие наукоемких отраслей привели к дальнейшему усложнению разрабатываемых и эксплуатируемых технических устройств и систем. Их экспериментальная отработка стала требовать все больших затрат времени и материальных ресурсов, а в ряде случаев ее проведение в полном объеме превратилось в проблему, не имеющую приемлемого решения.

В этих условиях существенно увеличилось значение расчетно-теоретического анализа характеристик таких устройств и систем. Этому способствовал и прорыв в совершенствовании вычислительной техники. В результате возникла материальная база для становления и быстрого развития математического моделирования и появились реальные предпосылки для использования вычислительного эксперимента не только в качестве расчетно-теоретического сопровождения но и при его проектировании, подборе и оптимизации его эксплуатационных режимов, анализе его надежности и прогнозировании отказов и аварийных ситуаций. Так, вычислительный эксперимент позволил снизить затраты на проведение натурных аэродинамических испытаний созданного в США аэробуса и добиться уменьшения аэродинамического сопротивления на 20 % по сравнению с существовавшими аналогами.

В настоящее время математическое моделирование и вычислительный эксперимент с использованием ЭВМ стали составными частями общих подходов, характерных для современных информационных технологий. Практическая реализация возможностей математического моделирования и вычислительного эксперимента существенно повышает эффективность инженерных разработок особенно при создании принципиально новых, не имеющих прототипов машин и приборов, материалов и технологий, что позволяет сократить затраты времени и средств на использование в технике передовых достижений физики, химии, механики и других фундаментальных наук.

## Понятие сложной системы.

Сложная система, составной объект, части которого можно рассматривать как системы, закономерно объединённые в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями.

Понятием Сложная система пользуются в системотехнике, системном анализе, операций исследовании и при системном подходе в различных областях науки, техники и народный хозяйства. Сложную систему можно расчленить (не обязательно единственным образом) на конечное число частей, называемое подсистемами; каждую такую подсистему (высшего уровня) можно в свою очередь расчленить на конечное число более мелких подсистем и т. д., вплоть до получения подсистем первого уровня, т. н. *элементов*.

Подсистема, т. о., с одной стороны, сама является Сложной системой из нескольких элементов (подсистем низшего уровня), а с другой стороны - элементом системы старшего уровня.

В каждый момент времени элемент Сложная система находится в одном из возможных состояний; из одного состояния в другое он переходит под действием внешних и внутренних факторов.

## Задачи исследования сложных систем.

Одной из важных проблем в области разработки и создания современных сложных технических систем является исследование динамики их функционирования на различных этапах проектирования, испытания и эксплуатации. При исследовании сложных систем возникают задачи исследования как отдельных видов оборудования и аппаратуры, входящих в систему, так и системы в целом.

При проектировании сложных систем ставится задача разработки систем, удовлетворяющих заданным техническим характеристикам. Поставленная задача может быть решена одним из следующих методов:

* методом синтеза оптимальной структуры системы с заданными характеристиками;
* методом анализа различных вариантов структуры системы для обеспечения требуемых технических характеристик.

Оптимальный синтез систем в большинстве случаев практически невозможен в силу сложности поставленной задачи и несовершенства современных методов синтеза сложных систем. Методы анализа сложных систем, включающие в себя элементы синтеза, в настоящее время достаточно развиты и получили широкое распространение.

Любая синтезированная или определенная каким-либо другим образом структура сложной системы для оценки ее показателей должна быть подвергнута испытаниям. Проведение испытаний системы является задачей анализа ее характеристик. Таким образом, конечным этапом проектирования сложной системы, осуществленного как методом синтеза структуры, так и методом анализа вариантов структур, является анализ показателей эффективности проектируемой системы.

Среди известных методов анализа показателей эффективности систем и исследования динамики их функционирования следует отметить:

* аналитический метод;
* метод натуральных испытаний;
* метод полунатурального моделирования;
* моделирование процесса функционирования системы на ЭВМ.

Строгое аналитическое исследование процесса функционирования сложных систем практически невозможно. Определение аналитической модели сложной системы затрудняется множеством условий, определяемых особенностями работы системы, взаимодействием ее составляющих частей, влиянием внешней среды и т.п.

Натуральные испытания сложных систем связаны с большими затратами времени и средств. Проведение испытаний предполагает наличие готового образца системы или ее физической модели, что исключает или затрудняет использование этого метода на этапе проектирования системы.

Широкое применение для исследования характеристик сложных систем находит метод полунатурального моделирования. При этом используется часть реальных устройств системы. Включенная в такую полунатуральную модель ЭВМ имитирует работы остальных устройств системы, отображенных математическими моделями. Однако в большинстве случаев этот метод также связан со значительными затратами и трудностями, в частности, аппаратной стыковкой натуральных частей с ЭВМ.

Исследование функционирования сложных систем с помощью моделирования их работы на ЭВМ помогает сократить время и средства на разработку.

Затраты рабочего времени и материальных средств на реализацию модели оказываются незначительными по сравнению с затратами, связанными с натурным экспериментом. Результаты моделирования по своей ценности для практического решения задач часто близки к результатам натурного эксперимента.

Основной метод исследования сложных систем -- математическое моделирование, в том числе имитация процессов функционирования Сложная система на ЭВМ (машинный эксперимент).

Концепция применения методов математического моделирования для решения задачи исследования и проектирования сложных систем базируется на следующих основных принципах:

1. Для любой технической системы можно создать математическую модель, которая будет описывать необходимые свойства системы, или ряд моделей.
2. Техническую систему можно исследовать с помощью натурного эксперимента или с помощью математического моделирования.
3. Не всякий натурный эксперимент можно произвести, но всякий эксперимент можно промоделировать.
4. Инженерные решения можно принимать на основе адекватных математических моделей.
5. Для получения адекватных математических моделей необходим эксперимент.
6. Чтобы научиться разрабатывать адекватные математические модели можно применять сравнение численных результатов с теоретическими результатами на основе аналитических решений.
7. Математическая модель состоит из: уравнений, параметров, граничных условий.
8. Ошибка в любом компоненте математической модели даст ошибку в результате математического моделирования.
9. Конечным подтверждением принятого технического решения является натурный эксперимент.

## 1.2. Основные принципы моделирования

### *1.2.1. Принцип информационной достаточности*.

При полном отсутствии информации об исследуемой системе построение ее модели невозможно. При наличии полной информации о системе ее моделирование лишено смысла. Существует некоторый критический уровень априорных сведений о системе (уровень информационной достаточности), при достижении которого может быть построена ее адекватная модель.

***1.2.2.Принцип осуществимости.***

Создаваемая модель должна обеспечить достижение поставленной цели исследования с вероятностью, существенно отличающейся от нуля, и за конечное время. Обычно задают некоторое пороговое значение *P*0 вероятности достижения цели моделирования *P*(*t*), а также приемлемую границу *t*0 времени достижения этой цеди. Модель считают осуществимой, если одновременно выполнены два неравенства:

*P*(*t*) ≥*P0* ; *t* ≤ *t*0

***1.2.3. Принцип множественности моделей.***

Данный принцип, несмотря на его порядковый номер, является ключевым. Речь идет о том, что создаваемая модель должна отражать в первую очередь те свойства реальной системы (или явления), которые влияют на выбранные показатель эффективности. Соответственно при использовании любой конкретной модели познаются лишь некоторые стороны реальности. Для более полного ее исследования необходим ряд моделей, позволяющих с разных сторон и с разной степенью детальности отражать рассматриваемый процесс.

***1.2.4. Принцип агрегирования.***

В большинстве случаев сложную систему можно представить состоящей из агрегатов (подсистем), для адекватного математического описания которых оказываются пригодными некоторые стандартные математические схемы. Принцип агрегирования позволяет, кроме того, достаточно гибко перестраивать модель в зависимости от задач исследования.

***1.2.5. Принцип параметризации.***

В ряде случаев моделируемая система имеет в своем составе некоторые относительно изолированные подсистемы,характеризующиеся определенным параметром, в том числе векторным. Такие подсистемы можно заменять в модели соответствующими числовыми величинами, а не описывать процесс их функционирования. При необходимости зависимость значений этих величин от ситуации может задаваться в виде таблицы, графика или аналитического выражения (формулы). Принцип параметризации позволяет сократить объем и продолжительность моделирования. Однако надо иметь в виду, что параметризация снижает адекватность модели.

Степень реализации перечисленных принципов в каждой конкретной модели может быть различной, причем это зависит не только от желания разработчика, но и от соблюдения им технологии моделирования. А любая технология предполагает наличие определенной последовательности действий.

## 1.3. Типы математического моделирования

***Аналитическое моделирование*** предполагает использование математической модели реального объекта в форме алгебраических, дифференциальных, интегральных и других уравнений, связывающих выходные переменные с входными, дополненных системой ограничений. При этом предполагается наличие однозначной вычислительной процедуры получения точного решения уравнений.

При ***имитационном*** ***моделировании*** используемая математическая модель воспроизводит логику («алгоритм») функционирования исследуемой системы во времени при различных сочетаниях значений параметров системы и внешней среды.

Примером простейшей аналитической модели может служить уравнение прямолинейного движения. При исследовании такого процесса с помощью имитационной модели должно быть реализовано наблюдение за изменением пройденного пути с течением времени.

Очевидно, в одних случаях более предпочтительным является аналитическое моделирование, в других – имитационное (или сочетание того и другого). Чтобы выбор был удачным, необходимо ответить на два вопроса:

* с какой целью проводится моделирование;
* к какому классу может быть отнесено моделируемое явление.

***Компьютерное моделирование - это математическое моделирование с использованием******средств вычислительной техники.***

Соответственно, технология компьютерного моделирования предполагает выполнение следующих действий:

1. определение цели моделирования;
2. разработка концептуальной модели;
3. формализация модели;
4. программная реализация модели;
5. планирование модельных экспериментов;
6. реализация плана эксперимента;
7. анализ и интерпретация результатов моделирования.

Содержание первых двух этапов практически не зависит от математического метода, положенного в основу моделирования (и даже наоборот – их результат определяет выбор метода). А вот реализация остальных шести существенно различается для каждого из двух основных подходов к построению модели. Именуются эти подходы в разных книгах по – разному, мы используем для их обозначения термины «аналитическое» и «имитационное» моделирование.

**1.4. Концептуальная модель**

***Концептуальная*** (содержательная) ***модель*** - это абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства ее элементов и причинно – следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования.

Построение концептуальной модели включает следующие этапы:

1. определение типа системы;
2. описание рабочей нагрузки;
3. декомпозиция системы.

На первом этапе осуществляется сбор фактических данных (на основе работы с литературой и технической документацией, проведения натурных экспериментов, сбора экспертной информации и т.д.), а также выдвижение гипотез относительно значений параметров и переменных, в тех случаях, когда отсутствует возможность получения фактических данных. Если полученные результаты соответствуют принципам информационной достаточности и осуществимости, то они могут служить основой для отнесения моделируемой системы к одному из известных типов (классов).

***1.4.1.Классификационные признаки концептуальной модели***

*1. множество* *состояний* моделируемой системы. По этому признаку системы делят на *статические* и *динамические*. Система называется статической, если множество ее состояний содержит один элемент. Если состояний больше одного, и они могут изменяться во времени, система называется динамической.

Различают *два основных типа динамических* систем:

* с дискретными состояниями (множество состояний конечно или счетно);
* с непрерывным множеством состояний.

Возможны смешанные случаи.

2. *движение* *системы* ***--*** процесс смены состояний.

Смена состояний может происходить либо в фиксированные моменты времени, множество которых дискретно и заранее определено (например, поступление новых партий товара на склад), либо непрерывно (изменение курсов валюты в ходе торгов). При этом различают *детерминированные системы и стохастические.* В *детерминированных* системах новое состояние зависит только от времени и текущего состояния системы. Другими словами, если имеются условия, определяющие переход системы в новое состояние, то для детерминированной системы можно однозначно указать, в какое именно состояние она перейдет.

Для *стохастической* системы можно указать лишь множество возможных состояний перехода и, в некоторых случаях, вероятности перехода в каждое из этих состояний.

Рассмотренная схема классификации систем важна не сама по себе. На этапе разработки концептуальной модели она, во – первых, позволяет уточнить цели и задачи моделирования и, во – вторых, облегчает переход к этапу формализации модели, знание классификационных признаков дает возможность оценить степень ее соответствия первоначальному замыслу разработчика.

3. *рабочая* *нагрузка* – это совокупность внешних воздействий, оказывающих влияние на эффективность применения данной системы в рамках решаемой задачи.

*4. Декомпозиция* *системы* производится исходя из выбранного уровня детализации модели

***1.4.2. Описание рабочей нагрузки***

Описание рабочей нагрузки является не только важной, но и достаточно сложной задачей. Особенно в тех случаях, когда приходится учитывать влияние случайных факторов, или когда речь идет о проектируемой принципиальной новой системы. В связи с этим многие вводят понятие модели рабочей нагрузки, подчеркивая сопоставимость уровня сложности описания собственно системы и ее рабочей нагрузки.

Модель рабочей нагрузки (РН) должна обладать следующими основными свойствами:

* совместимостью с моделью системы;
* представительностью;
* управляемостью;
* системной независимостью.

Свойство *совместимости* предполагает, что, во – первых степень детализации описания РН соответствует детализации описания системы; во – первых, модель РН должна быть сформулирована в тех же категориях предметной области, что и модель системы. Например, если в модели системы исследуется использование ресурсов, РН должна быть выражена в запросах на ресурсы;

*Представительность* модели РН определяется ее способностью адекватно представить РН в соответствии с целями исследования. Другими словами, модель РН должна отвечать целям исследования системы. Например, если оценивается пропускная способность, должна выбирать РН, «насыщающая» систему.

Под *управляемостью* понимается возможность изменения параметров модели РН в некотором диапазоне, определяемом целями исследования.

*Системная* *независимость* – это возможность переноса модели РН с одной системы на другую с сохранением ее представительности. Данное свойство наиболее важно при решении задачи сравнения различных систем или различных модификаций одной системы. Если модель РН зависит от конфигурации исследуемой системы или других ее параметров, то использование такой модели для решения задачи выбора невозможно.

И наконец, обратимся к этапу, завершающему построение концептуальной модели системы – ее декомпозиции.

***1.4.3. Декомпозиция*** ***системы***

***Декомпозиция*** ***системы*** производится исходя из выбранного уровня детализации модели, который, в свою очередь, определяется тремя факторами:

* целями моделирования;
* объемом априорной информации о системе;
* требованиями к точности и достоверности результатов моделирования.

Уровни детализации иногда называют ***стратами***, а процесс выделения уровней – ***стратификацией***.

Детализация системы должна производиться до такого уровня, чтобы для каждого элемента были известны или могли быть получены зависимости его выходных характеристик от входных воздействий, существенные с точки зрения выбранного показателя эффективности.

Повышение уровня детализации описания системы позволяет получить более точную ее модель, но усложняет процесс моделирования и ведет к росту затрат времени на проведение.

При имитационном моделировании для оценки выбранного уровня детализации можно использовать специальные критерии.

Первый из них – отношение реального времени функционирования системы к времени моделирования (т. е. к затратам машинного времени, необходимого на проведение модельного эксперимента). Например, если при одних и мех же подходах к программной реализации модели моделирование одного часа работы системы требует в одном случае 3 минуты машинного времени, а в другом – 10 минут, то во втором случае степень детализации описания выше (соотношение 3:10).

Второй критерий – разрешающая способность модели, в том числе:

разрешающая *способность* *по* *времени* – может быть определена как кратчайший интервал модельного времени между соседними событиями;

разрешающая способность *по* *информации* – наименьшая идентифицируемая порция информации, представимая в модели (для вычислительных систем, например, такими порциями могут быть слово, страница, программа, задание).

Третий критерий – число различных моделируемых состояний системы (или типов).

Для тех компонентов, относительно которых известно или предполагается, что они сильнее влияют на точность результатов, степень детальности может быть выше других.

Необходимо отметить, что с увеличением детальности возрастает устойчивость модели, но возрастают и затраты машинного времени на проведение модельного эксперимент.

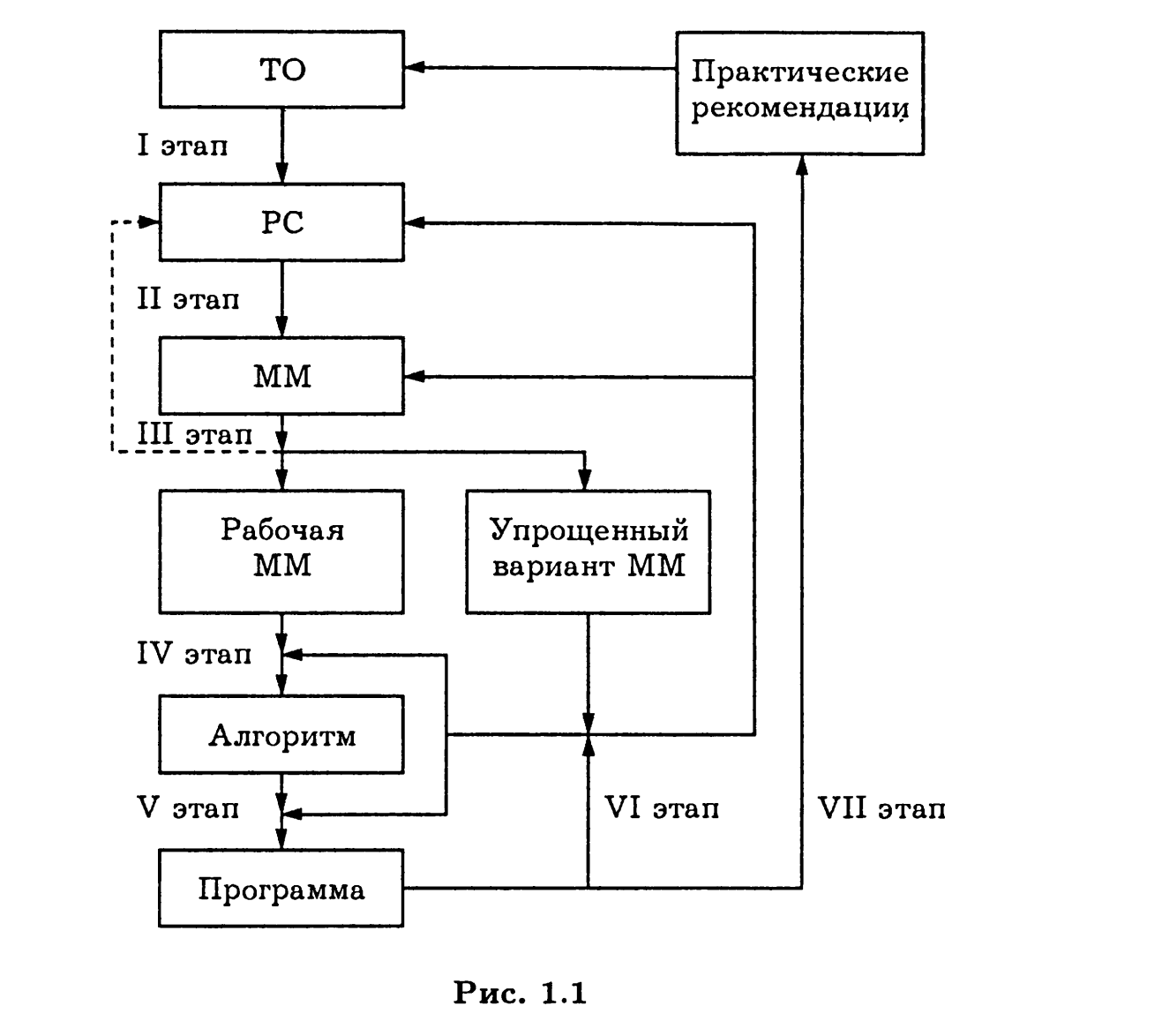
**1.4. Основные этапы математического моделирования**

Для обсуждения и обоснования основных подходов к разработке проблем математического моделирования технических устройств и процессов в них рассмотим условную схему (рис. 1.1), определяющую последовательность проведения отдельных этапов общей процедуры вычислительного эксперимента. Исходной позицией этой схемы служит технический объект (ТО), под которым будем понимать конкретное техническое устройство, его агрегат или узел, систему устройств, процесс, явление или отдельную ситуацию в какой-либо системе или устройстве.

***На первом этапе*** осуществляют неформальный переход от рассматриваемого ТО к его расчетной схеме (PC). При этом, конечной цели акцентируют те свойства, условия работы и особенности ТО, которые вместе с характеризующими их параметрами должны найти отражение в PC, и, наоборот, аргументируют допущения и упрощения, позволяющие не учитывать в PC те качества ТО, влияние которых предполагают в рассматриваемом случае несущественным. Такая PC называется *содержательной моделью*, или *концептуальной моделью*.

В сложившихся инженерных дисциплинах помимо описательной (вербальной) информации для характеристики таких моделей разработаны специальные приемы и символы наглядного графического изображения. По ряду новых направлений развития техники подобная символика находится в стадии формирования.

Полнота и правильность учета в РС свойств ТО, существенных с точки зрения поставленной цели исследования, являются основной предпосылкой получения в дальнейшем достоверных результатов математического моделирования. И наоборот, сильная идеализация ТО ради получения простой PC может обесценить все последующие этапы исследования.



***Содержание второго этапа*** состоит, по существу, в формальном, математическом описании PC. Это описание в виде математических соотношений, устанавливающих связь между параметрами, характеризующими PC TO, и называют математической моделью (ММ).

Для некоторых типовых PC существуют банки ММ, что упрощает проведение второго этапа. Более того, одна и та же ММ может соответствовать PC из различных предметных областей. Однако при разработке новых ТО часто не удается ограничиться применением типовых PC и отвечающих им уже построенных ММ. Создание новых ММ или модификация существующих должны опираться на достаточно глубокую математическую подготовку и владение математикой как универсальным языком науки.

***На третьем этапе*** проводят качественный и оценочный количественный анализ построенной ММ. При этом могут быть выявлены противоречия, ликвидация которых потребует уточнения или пересмотра PC (штриховая линия на рис. 1.1). Количественные оценки могут дать основания упростить модель, исключив из рассмотрения некоторые параметры, соотношения или их отдельные составляющие, несмотря на то что влияние описываемых ими факторов учтено в PC. В большинстве случаев, принимая дополнительные по отношению к PC допущения, полезно построить такой упрощенный вариант ММ, который позволял бы получить или привлечь известное точное решение.

Это решение затем можно использовать для сравнения при тестировании результатов на последующих этапах. В некоторых случаях удается построить несколько ММ для одного и того же ТО, отличающихся различным уровнем упрощения. В этом случае говорят об *иерархии ММ,* что в данном случае означает упорядочение ММ по признаку их сложности и полноты.

Построение иерархии ММ связано с различной детализацией свойств изучаемого ТО. Сравнение результатов исследования различных ММ может существенно расширить знания об этом ТО. Кроме того, такое сравнение позволяет оценить достоверность результатов последующего вычислительного эксперимента. Если более простая ММ правильно отражает некоторые свойства ТО, то результаты исследования этих свойств должны быть близки к результатам, полученным при использовании более полной и сложной ММ.

Итог анализа на рассматриваемом этапе — это обоснованный выбор рабочей ММ ТО, которая подлежит в дальнейшем детальному количественному анализу. Успех в проведении третьего этапа зависит, как правило, от глубины понимания связи отдельных составляющих ММ со свойствами ТО, нашедшими отражение в его PC, что предполагает сочетание владения математикой и инженерными знаниями в конкретной предметной области.

***Четвертый этап*** состоит в обоснованном выборе метода количественного анализа ММ, в разработке эффективного алгоритма вычислительного эксперимента, а ***пятый этап*** — в создании работоспособной программы, реализующей этот алгоритм средствами вычислительной техники. Для успешного проведения четвертого этапа необходимо владеть арсеналом современных методов вычислительной математики, а при математическом моделировании довольно сложных ТО выполнение пятого этапа требует профессиональной подготовки в области программирования на ЭВМ.

Получаемые на ***шестом этапе*** (в итоге работы программы) результаты вычислений должны прежде всего пройти тестирование путем сопоставления с данными количественного анализа упрощенного варианта ММ рассматриваемого ТО. Тестирование может выявить недочеты как в программе, так и в алгоритме и потребовать доработки программы или же модификации и алгоритма и программы. Анализ результатов вычислений и их инженерная интерпретация могут вызвать необходимость в корректировке PC и соответствующей ММ. После устранения всех выявленных недочетов триаду «модель — алгоритм — программа» можно использовать в качестве рабочего инструмента для проведения вычислительного эксперимента и выработки на основе получаемой количественной информации практических рекомендаций, направленных на совершенствование ТО, что составляет содержание ***седьмого,*** завершающего „технологический цикл" этапа математического моделирования.

Представленная последовательность этапов носит общий и универсальный характер, хотя в некоторых конкретных случаях она может и несколько видоизменяться. Однако математическое моделирование ТО, не имеющих близких прототипов, как правило, связано с проведением всех этапов описанного „технологического цикла".

**1.5. Математические модели в инженерных дисциплинах**

Осуществление отдельных этапов математического моделирования, рассмотренных, требует определенных знаний, навыков и практической подготовки. Поэтому к математическому моделированию сложных ТО приходится привлекать и инженеров, и математиков, и программистов. Однако для координации их усилий необходимы специалисты, способные осуществить каждый из рассмотренных этапов на высоком профессиональном уровне.

Подготовка таких специалистов составляет одну из ключевых проблем, от успешного решения которой зависит эффективное использование возможностей математического моделирования при создании технических устройств и их систем.

В инженерных дисциплинах изучают PC и ММ так называемых типовых элементов, часто встречающихся в данной отрасли техники. В электротехнике и электронике, сформирован так называемый банк PC и ММ типовых элементов, что в сочетании с принятой системой наглядного графического представления связей между этими элементами позволяет строить ММ достаточно сложных устройств.

Остановимся на особенностях построения ММ в инженерных дисциплинах. Математик-теоретик обычно выбирает для исследования уже построенную ММ, т.е. начинает работу с формулировки математической задачи и затем уже не подвергает сомнению эту формулировку, а лишь обосновывает свои преобразования и этапы решения задачи. При этом в некоторых случаях полученные результаты удается применить непосредственно к конкретному ТО. Но в технике ни одну достаточно сложную задачу нельзя поставить таким образом. Любое формулирование технической задачи является условным. Если некоторое следствие формулировки такой задачи неверно или неприемлемо, то задачу приходится переформулировать. Это объяснятся тем, что любая последовательность математических символов, записанных при построении ММ, является последовательностью утверждений содержательного характера, связанных с конкретным исследуемым ТО. Поэтому при математическом моделировании ТО необходимо учитывать как математическую, так и содержательную сторону задачи, связывая одну с другой.

Забвение относительного соответствия ММ реальному ТО может привести к ошибкам, связанным с приписыванием ТО свойств его ММ.

В этом отношении характерны слова отечественного математика, механика и кораблестроителя А.Н. Крылова (1863-1945): „Сколько бы ни было точно математическое решение, оно не может быть точнее тех приближенных предпосылок, на коих оно основано. Об этом часто забывают, делают вначале какое-нибудь грубое приближенное предположение или допущение, часто даже не оговорив таковое, а затем придают полученной формуле гораздо большее доверие, нежели она заслуживает".

В триаде „модель — алгоритм — программа" изолирование этапов, связанных с построением ММ или разработкой алгоритмов и пакетов программ, как и выполнение этих этапов по отдельности, не достаточно для эффективного использования преимуществ математического моделирования. Наличие современных ЭВМ само по себе еще не решает проблему. Необходимо „интеллектуальное ядро" вычислительной техники, которым является ее математическое обеспечение, составляющее, по оценкам, не менее 80% общей стоимости разработки информационных технологий.

Удобства, предоставляемые программным обеспечением современных ЭВМ их пользователям, часто приводят к стремлению обратиться при количественном анализе ММ к существующим и постоянно совершенствуемым универсальным пакетам типа Mathcad, Matlab и т.п. Более того, универсальность ММ и формирование банков типовых ММ позволяют создавать программные комплексы типа в которые исходная информация вводится даже не в виде ММ, а в виде PC изучаемого ТО.

Однако метод, который годится для решения многих стандартных задач, часто не является наилучшим при решении конкретной задачи, особенно нестандартной, а нередко и вообще не применим. Но в инженерной практике решать приходится в основном нестандартные задачи, потому что стандартные почти все решены или могут быть решены без особых творческих усилий. При решении новых и сложных задач, не имеющих близких аналогов, путь формального обращения к универсальным пакетам и программным комплексам может привести к получению результатов, которые не удастся интерпретировать применительно к рассматриваемому ТО. В таких случаях анализ ММ нужно строить на сочетании качественных оценок, аналитических методов и применения ЭВМ, помня, что компьютер, освобождая нас от многих забот и обязанностей, не освобождает от необходимости думать.