

Понятие проектирования

Проектирование технического объекта — создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта. Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами в процессе взаимодействия человека и ЭВМ. В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут быть объекты строительства, промышленные изделия или процессы. Проектирование включает в себя разработку технического предложения и (или) технического задания (ТЗ), отражающих эти потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является исходным (первичным) описанием объекта. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект, точнее окончательное описание объекта. Более коротко, проектирование — процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера.

Преобразование исходного описания в окончательное порождает ряд промежуточных описаний, подводящих итоги решения некоторых задач и используемых для обсуждения и принятия решений для окончания или продолжения проектирования. Такие промежуточные описания называют проектными решениями.

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным проектированием, в отличие от ручного (без использования ЭВМ) или автоматического (без участия человека на промежуточных этапах). Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой систему автоматизированного проектирования (САПР, в англоязычном написании CAD System — Computer Aided Design System). Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов. Превалирующим в настоящее время является автоматизированное проектирование.

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является системный подход, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Принципы системного подхода

Проектирование сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является системный подход, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Для специалиста в области системотехники идеи и принципы системного подхода являются очевидными и естественными, однако их соблюдение и реализация зачастую сопряжены с определенными трудностями, обусловливаемыми особенностями проектирования. Как и большинство взрослых образованных людей, правильно использующих родной язык без привлечения правил грамматики, инженеры используют системный подход без обращения к пособиям по системному анализу. Однако интуитивный подход без применения правил системного анализа может оказаться недостаточным для решения все более усложняющихся задач инженерной деятельности. Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный

подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, [формирование модели](#) системы, [исследование модели](#) и возможно [оптимизацию](#) ее структуры и функционирования.

Системный подход является базой для обобщающей дисциплины "теория систем" (другое используемое название — "системный анализ"). [Теория систем](#) — дисциплина, в которой конкретизируются положения системного подхода; она посвящена исследованию и проектированию сложных экономических, социальных, технических систем, чаще всего слабоструктурированных. Характерными примерами таких систем являются производственные системы. При проектировании систем цели достигаются в многошаговых процессах принятия решений. Методы принятия решений часто выделяют в самостоятельную дисциплину, называемую "Теория принятия решений".

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы, их проектирование, и аналогичную теории систем, чаще называют [системотехникой](#). Предметом системотехники являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, во-вторых, методы и принципы их проектирования и исследования. В системотехнике важно уметь сформулировать цели системы и организовать ее рассмотрение с позиций поставленных целей. Тогда можно отбросить лишние и малозначимые части при проектировании и [моделировании](#), перейти к постановке оптимизационных задач.

[Системы автоматизированного проектирования](#) и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем. Их проектирование и сопровождение невозможны без системного подхода. Поэтому идеи и положения системотехники входят составной частью в дисциплины, посвященные изучению современных [автоматизированных систем](#) и технологий их создания и применения.

Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов с другими названиями, которые также можно рассматривать как компоненты системотехники. Таковы структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы.

При структурном подходе, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

[Блочно-иерархический подход](#) к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и соответственно средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Ряд важных структурных принципов, используемых при разработке информационных систем и прежде всего их [программного обеспечения](#) (ПО), выражен в подходе, называемом [объектно-ориентированным проектированием](#) (ООП). Такой подход имеет следующие преимущества в решении проблем управления сложностью и интеграции ПО:

- вносит в [модели](#) приложений большую структурную определенность, распределяя представленные в приложении данные и процедуры между классами объектов;
- сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений [наследования](#) между свойствами объектов разных уровней иерархии;
- уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах.

Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности:

1. Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, [проектных процедур](#). Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию.
2. Итерационный характер проектирования.
3. Типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

В теории систем и системотехнике введен ряд терминов, среди них к базовым нужно отнести следующие понятия:

- [Система](#) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.
- Элемент — такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.
- [Сложная система](#) — система, характеризуемая большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности. Очевидно, что современные автоматизированные информационные системы и, в частности, системы автоматизированного проектирования, являются сложными в силу наличия у них перечисленных свойств и признаков.
- [Подсистема](#) — часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.
- [Надсистема](#) — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.
- Структура — отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; понятие структуры отличается от понятия самой системы также тем, что при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.
- Параметр — величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды. Обычно в [моделях](#) систем в качестве параметров рассматривают величины, не изменяющиеся в процессе исследования системы. Параметры подразделяют на внешние, внутренние и выходные, выражающие свойства элементов системы, самой системы, внешней среды соответственно. Векторы [внутренних параметров](#), [выходных параметров](#) и [внешних параметров](#) обозначаются $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, $Q = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ соответственно.
- [Фазовая переменная](#) — величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.

- Состояние — совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования.
- Поведение (динамика) системы — изменение состояния системы в процессе функционирования.
- Система без последействия — ее поведение при $t > t_0$ определяется заданием состояния в момент t_0 и вектором внешних воздействий $Q(t)$. В системах с последействием, кроме того, нужно знать предысторию поведения, т.е. состояния системы в моменты, предшествующие t_0 .
- Вектор переменных V , характеризующих состояние ([вектор переменных состояния](#)) — избыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последействия).
- Пространство состояний — множество возможных значений вектора переменных состояния.
- Фазовая траектория — представление процесса (зависимости $V(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

К характеристикам сложных систем часто относят следующие понятия:

- Целенаправленность — свойство искусственной системы, выражающее назначение системы. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.
- Целостность — свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных параметров от параметров элементов, при этом большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.
- Иерархичность — свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т.е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое-часть.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

- иерархическая структура систем, организация их проектирования;
- анализ и [моделирование](#) систем;
- синтез и [оптимизация](#) систем.

Моделирование имеет две четко различимые задачи:

1. создание моделей сложных систем (в англоязычном написании — [modeling](#));
2. анализ свойств систем на основе исследования их моделей ([simulation](#)).

Синтез также подразделяют на две задачи:

1. синтез структуры проектируемых систем ([структурный синтез](#));
2. выбор численных значений параметров элементов систем ([параметрический синтез](#)).

Эти задачи относятся к области принятия проектных решений.

Моделирование и оптимизацию желательно выполнять с учетом статистической природы систем. Детерминированность — лишь частный случай. При проектировании характерны нехватка достоверных исходных данных, неопределенность условий принятия решений. Учет статистического характера данных при моделировании в значительной мере основан на [методе статистических испытаний](#) (методе Монте-Карло), а принятие решений — на использовании нечетких множеств, экспертных систем, эволюционных вычислений.

Пример 1

Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К подсистемам компьютера относятся [процессор](#) (процессоры), [оперативная память](#), [кэш-память](#), [шины](#), устройства ввода-вывода. В качестве надсистемы могут выступать вычислительная сеть, автоматизированная и (или) организационная система, к которым принадлежит компьютер. Внутренние параметры — времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры — производительность компьютера, емкость оперативной и [внешней памяти](#), себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры — напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Пример 2

Для двигателя внутреннего сгорания подсистемами являются коленчатый вал, механизм газораспределения, поршневая группа, система смазки и охлаждения. Внутренние параметры — число цилиндров, объем камеры сгорания и др. Выходные параметры — мощность двигателя, КПД, расход топлива и др. Внешние параметры — характеристики топлива, температура воздуха, нагрузка на выходном валу.

Пример 3

Подсистемы электронного усилителя — усилительные каскады; внутренние параметры — сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, параметры транзисторов; выходные параметры — коэффициент усиления на средних частотах, полоса пропускания, входное сопротивление; внешние параметры — температура окружающей среды, напряжения источников питания, сопротивление нагрузки.

[Проектирование](#) сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является [системный подход](#), идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Для специалиста в области системотехники идеи и принципы системного подхода являются очевидными и естественными, однако их соблюдение и реализация зачастую сопряжены с определенными трудностями, обусловливаемыми особенностями проектирования. Как и большинство взрослых образованных людей, правильно использующих родной язык без привлечения правил грамматики, инженеры используют системный подход без обращения к пособиям по системному анализу. Однако интуитивный подход без применения правил системного анализа может оказаться недостаточным для решения все более усложняющихся задач инженерной деятельности. Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение

атрибутов, анализ влияния внешней среды, [формирование модели](#) системы, [исследование модели](#) и возможно [оптимизацию](#) ее структуры и функционирования.

Системный подход является базой для обобщающей дисциплины "теория систем" (другое используемое название — "системный анализ"). [Теория систем](#) — дисциплина, в которой конкретизируются положения системного подхода; она посвящена исследованию и проектированию сложных экономических, социальных, технических систем, чаще всего слабоструктурированных. Характерными примерами таких систем являются производственные системы. При проектировании систем цели достигаются в многошаговых процессах принятия решений. Методы принятия решений часто выделяют в самостоятельную дисциплину, называемую "Теория принятия решений".

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы, их проектирование, и аналогичную теории систем, чаще называют [системотехникой](#). Предметом системотехники являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, во-вторых, методы и принципы их проектирования и исследования. В системотехнике важно уметь сформулировать цели системы и организовать ее рассмотрение с позиций поставленных целей. Тогда можно отбросить лишние и малозначимые части при проектировании и [моделировании](#), перейти к постановке оптимизационных задач.

[Системы автоматизированного проектирования](#) и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем. Их проектирование и сопровождение невозможны без системного подхода. Поэтому идеи и положения системотехники входят составной частью в дисциплины, посвященные изучению современных [автоматизированных систем](#) и технологий их создания и применения.

Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов с другими названиями, которые также можно рассматривать как компоненты системотехники. Таковы структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы.

При структурном подходе, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

[Блочно-иерархический подход](#) к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и соответственно средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Ряд важных структурных принципов, используемых при разработке информационных систем и прежде всего их [программного обеспечения](#) (ПО), выражен в подходе, называемом [объектно-ориентированным проектированием](#) (ООП). Такой подход имеет следующие преимущества в решении проблем управления сложностью и интеграции ПО:

- вносит в [модели](#) приложений большую структурную определенность, распределяя представленные в приложении данные и процедуры между классами объектов;
- сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений [наследования](#) между свойствами объектов разных уровней иерархии;
- уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах.

Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности:

1. Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, [проектных процедур](#). Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию.
2. Итерационный характер проектирования.
3. Типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

В теории систем и системотехнике введен ряд терминов, среди них к базовым нужно отнести следующие понятия:

- [Система](#) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.
- Элемент — такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.
- [Сложная система](#) — система, характеризуемая большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности. Очевидно, что современные автоматизированные информационные системы и, в частности, системы автоматизированного проектирования, являются сложными в силу наличия у них перечисленных свойств и признаков.
- [Подсистема](#) — часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.
- [Надсистема](#) — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.
- Структура — отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; понятие структуры отличается от понятия самой системы также тем, что при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.
- Параметр — величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды. Обычно в [моделях](#) систем в качестве параметров рассматривают величины, не изменяющиеся в процессе исследования системы. Параметры подразделяют на внешние, внутренние и выходные, выражающие свойства элементов системы, самой системы, внешней среды соответственно. Векторы [внутренних параметров](#), [выходных параметров](#) и [внешних параметров](#) обозначаются $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, $\mathbf{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ соответственно.
- [Фазовая переменная](#) — величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.
- Состояние — совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования.

- Поведение (динамика) системы — изменение состояния системы в процессе функционирования.
- Система без последействия — ее поведение при $t > t_0$ определяется заданием состояния в момент t_0 и вектором внешних воздействий $Q(t)$. В системах с последействием, кроме того, нужно знать предысторию поведения, т.е. состояния системы в моменты, предшествующие t_0 .
- Вектор переменных V , характеризующих состояние ([вектор переменных состояния](#)) — избыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последействия).
- Пространство состояний — множество возможных значений вектора переменных состояния.
- Фазовая траектория — представление процесса (зависимости $V(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

К характеристикам сложных систем часто относят следующие понятия:

- Целенаправленность — свойство искусственной системы, выражающее назначение системы. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.
- Целостность — свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных параметров от параметров элементов, при этом большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.
- Иерархичность — свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т.е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое-часть.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

- иерархическая структура систем, организация их проектирования;
- анализ и [моделирование](#) систем;
- синтез и [оптимизация](#) систем.

Моделирование имеет две четко различимые задачи:

1. создание моделей сложных систем (в англоязычном написании — [modeling](#));
2. анализ свойств систем на основе исследования их моделей ([simulation](#)).

Синтез также подразделяют на две задачи:

1. синтез структуры проектируемых систем ([структурный синтез](#));

2. выбор численных значений параметров элементов систем ([параметрический синтез](#)).

Эти задачи относятся к области принятия проектных решений.

Моделирование и оптимизацию желательно выполнять с учетом статистической природы систем. Детерминированность — лишь частный случай. При проектировании характерны нехватка достоверных исходных данных, неопределенность условий принятия решений. Учет статистического характера данных при моделировании в значительной мере основан на [методе статистических испытаний](#) (методе Монте-Карло), а принятие решений — на использовании нечетких множеств, экспертных систем, эволюционных вычислений.

Пример 1

Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К подсистемам компьютера относятся [процессор](#) (процессоры), [оперативная память](#), [кэш-память](#), [шины](#), устройства ввода-вывода. В качестве надсистемы могут выступать вычислительная сеть, автоматизированная и (или) организационная система, к которым принадлежит компьютер. Внутренние параметры — времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры — производительность компьютера, емкость оперативной и [внешней памяти](#), себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры — напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Пример 2

Для двигателя внутреннего сгорания подсистемами являются коленчатый вал, механизм газораспределения, поршневая группа, система смазки и охлаждения. Внутренние параметры — число цилиндров, объем камеры сгорания и др. Выходные параметры — мощность двигателя, КПД, расход топлива и др. Внешние параметры — характеристики топлива, температура воздуха, нагрузка на выходном валу.

Пример 3

Подсистемы электронного усилителя — усилительные каскады; внутренние параметры — сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, параметры транзисторов; выходные параметры — коэффициент усиления на средних частотах, полоса пропускания, входное сопротивление; внешние параметры — температура окружающей среды, напряжения источников питания, сопротивление нагрузки.

[Проектирование](#) сложных объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является [системный подход](#), идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Для специалиста в области системотехники идеи и принципы системного подхода являются очевидными и естественными, однако их соблюдение и реализация зачастую сопряжены с определенными трудностями, обусловливаемыми особенностями проектирования. Как и большинство взрослых образованных людей, правильно использующих родной язык без привлечения правил грамматики, инженеры используют системный подход без обращения к пособиям по системному анализу. Однако интуитивный подход без применения правил системного анализа может оказаться недостаточным для решения все более усложняющихся задач инженерной деятельности. Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, [формирование модели](#) системы, [исследование модели](#) и возможно [оптимизацию](#) ее структуры и функционирования.

Системный подход является базой для обобщающей дисциплины "теория систем" (другое используемое название — "системный анализ"). [Теория систем](#) — дисциплина, в которой конкретизируются положения системного подхода; она посвящена исследованию и проектированию сложных экономических, социальных, технических систем, чаще всего слабоструктурированных. Характерными примерами таких систем являются производственные системы. При проектировании систем цели достигаются в многошаговых процессах принятия решений. Методы принятия решений часто выделяют в самостоятельную дисциплину, называемую "Теория принятия решений". В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы, их проектирование, и аналогичную теории систем, чаще называют [системотехникой](#). Предметом системотехники являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, во-вторых, методы и принципы их проектирования и исследования. В системотехнике важно уметь сформулировать цели системы и организовать ее рассмотрение с позиций поставленных целей. Тогда можно отбросить лишние и малозначимые части при проектировании и [моделировании](#), перейти к постановке оптимизационных задач.

[Системы автоматизированного проектирования](#) и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем. Их проектирование и сопровождение невозможны без системного подхода. Поэтому идеи и положения системотехники входят составной частью в дисциплины, посвященные изучению современных [автоматизированных систем](#) и технологий их создания и применения.

Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов с другими названиями, которые также можно рассматривать как компоненты системотехники. Таковы структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы.

При структурном подходе, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

[Блочно-иерархический подход](#) к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и соответственно средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Ряд важных структурных принципов, используемых при разработке информационных систем и прежде всего их [программного обеспечения](#) (ПО), выражен в подходе, называемом [объектно-ориентированным проектированием](#) (ООП). Такой подход имеет следующие преимущества в решении проблем управления сложностью и интеграции ПО:

- вносит в [модели](#) приложений большую структурную определенность, распределяя представленные в приложении данные и процедуры между классами объектов;
- сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений [наследования](#) между свойствами объектов разных уровней иерархии;
- уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах.

Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности:

1. Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, [проектных процедур](#). Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию.
2. Итерационный характер проектирования.
3. Типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

В теории систем и системотехнике введен ряд терминов, среди них к базовым нужно отнести следующие понятия:

- [Система](#) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.
- Элемент — такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.
- [Сложная система](#) — система, характеризуемая большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности. Очевидно, что современные автоматизированные информационные системы и, в частности, системы автоматизированного проектирования, являются сложными в силу наличия у них перечисленных свойств и признаков.
- [Подсистема](#) — часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.
- [Надсистема](#) — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.
- Структура — отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; понятие структуры отличается от понятия самой системы также тем, что при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.
- Параметр — величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды. Обычно в [моделях](#) систем в качестве параметров рассматривают величины, не изменяющиеся в процессе исследования системы. Параметры подразделяют на внешние, внутренние и выходные, выражающие свойства элементов системы, самой системы, внешней среды соответственно. Векторы [внутренних параметров](#), [выходных параметров](#) и [внешних параметров](#) обозначаются $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, $\mathbf{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ соответственно.
- [Фазовая переменная](#) — величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.
- Состояние — совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования.

- Поведение (динамика) системы — изменение состояния системы в процессе функционирования.
- Система без последействия — ее поведение при $t > t_0$ определяется заданием состояния в момент t_0 и вектором внешних воздействий $Q(t)$. В системах с последействием, кроме того, нужно знать предысторию поведения, т.е. состояния системы в моменты, предшествующие t_0 .
- Вектор переменных V , характеризующих состояние ([вектор переменных состояния](#)) — избыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последействия).
- Пространство состояний — множество возможных значений вектора переменных состояния.
- Фазовая траектория — представление процесса (зависимости $V(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

К характеристикам сложных систем часто относят следующие понятия:

- Целенаправленность — свойство искусственной системы, выражающее назначение системы. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.
- Целостность — свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных параметров от параметров элементов, при этом большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.
- Иерархичность — свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т.е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое-часть.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

- иерархическая структура систем, организация их проектирования;
- анализ и [моделирование](#) систем;
- синтез и [оптимизация](#) систем.

Моделирование имеет две четко различимые задачи:

1. создание моделей сложных систем (в англоязычном написании — [modeling](#));
2. анализ свойств систем на основе исследования их моделей ([simulation](#)).

Синтез также подразделяют на две задачи:

1. синтез структуры проектируемых систем ([структурный синтез](#));

2. выбор численных значений параметров элементов систем ([параметрический синтез](#)).

Эти задачи относятся к области принятия проектных решений.

Моделирование и оптимизацию желательно выполнять с учетом статистической природы систем. Детерминированность — лишь частный случай. При проектировании характерны нехватка достоверных исходных данных, неопределенность условий принятия решений. Учет статистического характера данных при моделировании в значительной мере основан на [методе статистических испытаний](#) (методе Монте-Карло), а принятие решений — на использовании нечетких множеств, экспертных систем, эволюционных вычислений.

Пример 1

Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К подсистемам компьютера относятся [процессор](#) (процессоры), [оперативная память](#), [кэш-память](#), [шины](#), устройства ввода-вывода. В качестве надсистемы могут выступать вычислительная сеть, автоматизированная и (или) организационная система, к которым принадлежит компьютер. Внутренние параметры — времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры — производительность компьютера, емкость оперативной и [внешней памяти](#), себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры — напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Пример 2

Для двигателя внутреннего сгорания подсистемами являются коленчатый вал, механизм газораспределения, поршневая группа, система смазки и охлаждения. Внутренние параметры — число цилиндров, объем камеры сгорания и др. Выходные параметры — мощность двигателя, КПД, расход топлива и др. Внешние параметры — характеристики топлива, температура воздуха, нагрузка на выходном валу.

Пример 3

Подсистемы электронного усилителя — усилительные каскады; внутренние параметры — сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, параметры транзисторов; выходные параметры — коэффициент усиления на средних частотах, полоса пропускания, входное сопротивление; внешние параметры — температура окружающей среды, напряжения источников питания, сопротивление нагрузки.

Для специалиста в области системотехники идеи и принципы системного подхода являются очевидными и естественными, однако их соблюдение и реализация зачастую сопряжены с определенными трудностями, обусловливаемыми особенностями проектирования. Как и большинство взрослых образованных людей, правильно использующих родной язык без привлечения правил грамматики, инженеры используют системный подход без обращения к пособиям по системному анализу. Однако интуитивный подход без применения правил системного анализа может оказаться недостаточным для решения все более усложняющихся задач инженерной деятельности. Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, [формирование модели](#) системы, [исследование модели](#) и возможно [оптимизацию](#) ее структуры и функционирования.

Системный подход является базой для обобщающей дисциплины "теория систем" (другое используемое название — "системный анализ"). [Теория систем](#) — дисциплина, в которой конкретизируются положения системного подхода; она посвящена исследованию и проектированию сложных экономических, социальных, технических систем, чаще всего слабоструктурированных. Характерными примерами таких систем являются производственные системы. При проектировании систем цели достигаются в

многошаговых процессах принятия решений. Методы принятия решений часто выделяют в самостоятельную дисциплину, называемую "Теория принятия решений".

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы, их проектирование, и аналогичную теории систем, чаще называют [системотехникой](#). Предметом системотехники являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, во-вторых, методы и принципы их проектирования и исследования. В системотехнике важно уметь сформулировать цели системы и организовать ее рассмотрение с позиций поставленных целей. Тогда можно отбросить лишние и малозначимые части при проектировании и [моделировании](#), перейти к постановке оптимизационных задач.

[Системы автоматизированного проектирования](#) и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем. Их проектирование и сопровождение невозможны без системного подхода. Поэтому идеи и положения системотехники входят составной частью в дисциплины, посвященные изучению современных [автоматизированных систем](#) и технологий их создания и применения.

Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов с другими названиями, которые также можно рассматривать как компоненты системотехники. Таковы структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы.

При структурном подходе, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

[Блочно-иерархический подход](#) к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и соответственно средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Ряд важных структурных принципов, используемых при разработке информационных систем и прежде всего их [программного обеспечения](#) (ПО), выражен в подходе, называемом [объектно-ориентированным проектированием](#) (ООП). Такой подход имеет следующие преимущества в решении проблем управления сложностью и интеграции ПО:

- вносит в [модели](#) приложений большую структурную определенность, распределяя представленные в приложении данные и процедуры между классами объектов;
- сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений [наследования](#) между свойствами объектов разных уровней иерархии;
- уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах.

Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности:

1. Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, [проектных процедур](#). Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию.
2. Итерационный характер проектирования.

3. Типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

В теории систем и системотехнике введен ряд терминов, среди них к базовым нужно отнести следующие понятия:

- **Система** — множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.
- **Элемент** — такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.
- **Сложная система** — система, характеризуемая большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности. Очевидно, что современные автоматизированные информационные системы и, в частности, системы автоматизированного проектирования, являются сложными в силу наличия у них перечисленных свойств и признаков.
- **Подсистема** — часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.
- **Надсистема** — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.
- **Структура** — отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; понятие структуры отличается от понятия самой системы также тем, что при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.
- **Параметр** — величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды. Обычно в **моделях** систем в качестве параметров рассматривают величины, не изменяющиеся в процессе исследования системы. Параметры подразделяют на внешние, внутренние и выходные, выражающие свойства элементов системы, самой системы, внешней среды соответственно. Векторы **внутренних параметров**, **выходных параметров** и **внешних параметров** обозначаются $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, $\mathbf{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ соответственно.
- **Фазовая переменная** — величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.
- **Состояние** — совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования.
- **Поведение (динамика) системы** — изменение состояния системы в процессе функционирования.
- **Система без последействия** — ее поведение при $t > t_0$ определяется заданием состояния в момент t_0 и вектором внешних воздействий $\mathbf{Q}(t)$. В системах с последействием, кроме того, нужно знать предысторию поведения, т.е. состояния системы в моменты, предшествующие t_0 .

- Вектор переменных \mathbf{V} , характеризующих состояние ([вектор переменных состояния](#)) — избыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последствия).
- Пространство состояний — множество возможных значений вектора переменных состояния.
- Фазовая траектория — представление процесса (зависимости $\mathbf{V}(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

К характеристикам сложных систем часто относят следующие понятия:

- Целенаправленность — свойство искусственной системы, выражающее назначение системы. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.
- Целостность — свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных параметров от параметров элементов, при этом большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.
- Иерархичность — свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т.е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое-часть.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

- иерархическая структура систем, организация их проектирования;
- анализ и [моделирование](#) систем;
- синтез и [оптимизация](#) систем.

Моделирование имеет две четко различимые задачи:

1. создание моделей сложных систем (в англоязычном написании — [modeling](#));
2. анализ свойств систем на основе исследования их моделей ([simulation](#)).

Синтез также подразделяют на две задачи:

1. синтез структуры проектируемых систем ([структурный синтез](#));
2. выбор численных значений параметров элементов систем ([параметрический синтез](#)).

Эти задачи относятся к области принятия проектных решений.

Моделирование и оптимизацию желательно выполнять с учетом статистической природы систем. Детерминированность — лишь частный случай. При проектировании характерны нехватка достоверных исходных данных, неопределенность условий принятия решений. Учет статистического характера данных при моделировании в значительной мере основан на [методе статистических испытаний](#) (методе Монте-Карло), а принятие решений — на использовании нечетких множеств, экспертных систем, эволюционных вычислений.

Пример 1

Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К подсистемам компьютера относятся [процессор](#) (процессоры), [оперативная память](#), [кэш-память](#), [шины](#), устройства ввода-вывода. В качестве надсистемы могут выступать вычислительная сеть, автоматизированная и (или) организационная система, к которым принадлежит компьютер. Внутренние параметры — времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры — производительность компьютера, емкость оперативной и [внешней памяти](#), себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры — напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Пример 2

Для двигателя внутреннего сгорания подсистемами являются коленчатый вал, механизм газораспределения, поршневая группа, система смазки и охлаждения. Внутренние параметры — число цилиндров, объем камеры сгорания и др. Выходные параметры — мощность двигателя, КПД, расход топлива и др. Внешние параметры — характеристики топлива, температура воздуха, нагрузка на выходном валу.

Пример 3

Подсистемы электронного усилителя — усилительные каскады; внутренние параметры — сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, параметры транзисторов; выходные параметры — коэффициент усиления на средних частотах, полоса пропускания, входное сопротивление; внешние параметры — температура окружающей среды, напряжения источников питания, сопротивление нагрузки.

Уровни проектирования

При использовании [блочного-иерархического подхода](#) к [проектированию](#) представления о проектируемой системе расчленяют на иерархические уровни. На верхнем уровне используют наименее детализированное представление, отражающее только самые общие черты и особенности проектируемой системы. На следующих уровнях степень подробности описания возрастает, при этом рассматривают уже отдельные блоки системы, но с учетом воздействий на каждый из них его соседей. Такой подход позволяет на каждом иерархическом уровне формулировать задачи приемлемой сложности, поддающиеся решению с помощью имеющихся средств проектирования. Разбиение на уровни должно быть таким, чтобы документация на блок любого уровня была обзрима и воспринимается одним человеком.

Другими словами, блочно-иерархический подход есть декомпозиционный подход (его можно назвать также диакоптическим), который основан на разбиении сложной задачи большой размерности на последовательно и (или) параллельно решаемые группы задач малой размерности, что существенно сокращает требования к используемым вычислительным ресурсам или время решения задач.

Можно говорить не только об иерархических уровнях спецификаций, но и об иерархических уровнях проектирования, понимая под каждым из них совокупность спецификаций некоторого иерархического уровня совместно с постановками задач, методами получения описаний и решения возникающих проектных задач.

Список иерархических уровней в каждом приложении может быть специфичным, но для большинства приложений характерно следующее наиболее крупное выделение уровней:

- [системный уровень](#), на котором решают наиболее общие задачи проектирования систем, машин и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования, [диаграмм потоков данных](#) и т.п.;

- [макроуровень](#), на котором проектируют отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т.п.;
- [микроуровень](#), на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

В каждом приложении число выделяемых уровней и их наименования могут быть различными. Так, в радиоэлектронике микроуровень часто называют компонентным, макроуровень — [схемотехническим уровнем](#). Между схемотехническим и системным уровнями вводят уровень, называемый [функционально-логическим уровнем](#). В вычислительной технике системный уровень подразделяют на уровни проектирования ЭВМ (вычислительных систем) и вычислительных сетей. В машиностроении имеются уровни деталей, узлов, машин, комплексов.

В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают нисходящее, восходящее и смешанное проектирование (стили проектирования).

Последовательность решения задач от нижних уровней к верхним характеризует [восходящее проектирование](#), обратная последовательность приводит к [нисходящему проектированию](#), в смешанном стиле имеются элементы как восходящего, так и нисходящего проектирования. В большинстве случаев для сложных систем предпочитают нисходящее проектирование. Отметим однако, что при наличии заранее спроектированных составных блоков (устройств) можно говорить о смешанном проектировании.

Неопределенность и нечеткость исходных данных при нисходящем проектировании (так как еще не спроектированы компоненты) или исходных требований при восходящем проектировании (поскольку [ТЗ](#) имеется на всю систему, а не на ее части) обуславливают необходимость прогнозирования недостающих данных с последующим их уточнением, т.е. последовательного приближения к окончательному решению (итерационность проектирования).

Наряду с декомпозицией описаний на иерархические уровни применяют разделение представлений о проектируемых объектах на аспекты.

[Аспект описания](#) (страта) — описание системы или ее части с некоторой оговоренной точки зрения, определяемой функциональными, физическими или иного типа отношениями между свойствами и элементами.

Различают аспекты функциональный, информационный, структурный и поведенческий (процессный). Функциональное описание относят к функциям системы и чаще всего представляют его функциональными схемами. Получение функциональных описаний часто называют [функциональным проектированием](#).

Информационное описание включает в себя основные понятия предметной области ([сущности](#)), словесное пояснение или числовые значения характеристик (атрибутов) используемых объектов, а также описание связей между этими понятиями и характеристиками. [Информационные модели](#) можно представлять графически (графы, диаграммы сущность-отношение), в виде таблиц или списков. Получение информационных описаний часто называют информационным проектированием или применительно к созданию баз данных — инфологическим проектированием.

[Структурное описание](#) относится к морфологии системы, характеризует составные части системы и их межсоединения и может быть представлено структурными схемами, а также различного рода конструкторской документацией. Получение конструкторской документации, т.е. описание геометрических форм изделий, состава компонентов и их пространственного размещения, называют [конструкторским проектированием](#).

[Поведенческое описание](#) характеризует процессы функционирования (алгоритмы) системы и (или) технологические процессы создания системы. Разработка алгоритмов и программного обеспечения систем является предметом [алгоритмического](#)

[проектирования](#), а разработка технологических процессов изготовления изделий — предметом [технологического проектирования](#).

Иногда аспекты описаний связывают с [подсистемами](#), функционирование которых основано на различных физических процессах.

Отметим, что в общем случае выделение страт может быть неоднозначным. Так, помимо указанного подхода, очевидна целесообразность выделения таких аспектов, как функциональное (разработка принципов действия, структурных, функциональных, принципиальных схем), конструкторское (определение форм и пространственного расположения компонентов изделий), алгоритмическое (разработка алгоритмов и [программного обеспечения](#)) и технологическое (разработка технологических процессов) проектирование систем. Примерами страт в случае [САПР](#) могут служить также рассматриваемые далее виды обеспечения автоматизированного проектирования.

Стадии проектирования

[Стадии проектирования](#) — наиболее крупные части [проектирования](#), как процесса, развивающегося во времени. В общем случае выделяют стадии [научно-исследовательских работ](#) (НИР), эскизного проекта или опытно-конструкторских работ (ОКР), технического, рабочего проектов, испытаний опытных образцов или опытных партий. Стадию НИР иногда называют предпроектными исследованиями или стадией технического предложения. Очевидно, что по мере перехода от стадии к стадии степень подробности и тщательность проработки проекта возрастают, и рабочий проект уже должен быть вполне достаточным для изготовления опытных или серийных образцов. Близким к определению стадии, но менее четко оговоренным понятием, является понятие этапа проектирования. Проектирование на начальных этапах, в процессе которого принимаются принципиальные [проектные решения](#) по облику и принципам действия проектируемых устройств и систем, называют [концептуальным проектированием](#).

Стадии (этапы) проектирования подразделяют на составные части, называемые [проектными процедурами](#). Примерами проектных процедур могут служить подготовка детализированных чертежей, анализ кинематики, [моделирование](#) переходного процесса, [оптимизация](#) параметров и другие проектные задачи. В свою очередь, проектные процедуры можно расчленить на более мелкие компоненты, называемые [проектными операциями](#), например, при анализе прочности детали сеточными методами операциями могут быть построение сетки, выбор или расчет внешних воздействий, собственно моделирование полей напряжений и деформаций, представление результатов моделирования в графической и текстовой формах. Проектирование сводится к выполнению некоторых последовательностей проектных процедур — [маршрутов проектирования](#).

Стремление сократить временные затраты на проектирование привело к разработке методик [параллельного проектирования](#) (совмещенного проектирования), при котором параллельно во времени решаются задачи, связанные друг с другом по входным и выходным данным таким образом, что для решения одной из них требуется знание результатов решения другой задачи. Поскольку эти результаты к началу процедуры параллельного проектирования еще не получены, в методике параллельного проектирования должны быть указаны способы задания еще не определенных значений параметров. Примерам параллельного проектирования могут служить параллельная разработка аппаратных и программных средств вычислительных систем или одновременная разработка самолета и средств его аэродромного обслуживания.

Иногда разработку [технического задания](#) на проектирование называют [внешним проектированием](#), а реализацию ТЗ — [внутренним проектированием](#).

В ТЗ на проектирование объекта указывают, по крайней мере, следующие данные:

1. Назначение объекта;
2. Условия эксплуатации. Наряду с качественными характеристиками (представленными в вербальной форме) имеются числовые параметры, называемые внешними параметрами, для которых указаны области допустимых значений. Примеры внешних параметров: температура окружающей среды, внешние силы, электрические напряжения, нагрузки и т.п.;
3. Требования к выходным параметрам, т.е. к величинам, характеризующим свойства объекта, интересующие потребителя. Эти требования выражены в виде условий работоспособности: $y_i R T_i$, где y_i — i -й выходной параметр, $R \in \{=, <, >, \leq, \geq\}$ — вид отношения; T_i — норма i -го выходного параметра. В случае, если R — отношение равенства, нужно задать требуемую точность выполнения равенства.

Примеры условий работоспособности:

- расход топлива на 100 км пробега автомобиля < 8 л;
- коэффициент усиления усилителя на средних частотах > 300 ;
- быстродействие процессора > 40 Мфлопс.

Модели и их параметры

В автоматизированных проектных процедурах вместо еще не существующего проектируемого объекта оперируют некоторым квазиобъектом — моделью, которая отражает некоторые интересующие исследователя свойства объекта. Модель может быть физическим объектом (макет, стенд) или спецификацией. Среди моделей-спецификаций различают функциональные, поведенческие, информационные, структурные модели (описания). Эти модели называют математическими моделями, если они формализованы средствами аппарата и языка математики.

В свою очередь, математические модели могут быть геометрическими, топологическими, динамическими, логическими и т.п., если они отражают соответствующие свойства объектов. Наряду с математическими моделями при проектировании используют функциональные модели, информационные модели в виде диаграмм сущность-отношение, геометрические модели (чертежи). В дальнейшем, если нет специальной оговорки, под словом "модель" будем подразумевать математическую модель.

Математическая функциональная модель в общем случае представляет собой алгоритм вычисления вектора выходных параметров Y при заданных векторах параметров элементов (внутренних параметров) X и внешних параметров Q .

Математические модели могут быть символическими и численными. При использовании символических моделей оперируют не значениями величин, а их символическими обозначениями (идентификаторами). Численные модели могут быть аналитическими моделями, т.е. их можно представить в виде явно выраженных зависимостей выходных параметров Y от параметров внутренних X и внешних Q , или алгоритмическими моделями, в которых связь Y , X и Q задана неявно в виде алгоритма моделирования.

Важнейший частный случай алгоритмических моделей — имитационные модели, они отображают процессы в системе при наличии внешних воздействий на систему. Другими словами, имитационная модель — это алгоритмическая поведенческая модель.

Классификацию математических моделей выполняют также по ряду других признаков. Так, в зависимости от принадлежности к тому или иному иерархическому уровню выделяют модели уровней системного, функционально-логического, макроуровня (сосредоточенного) и микроуровня (распределенного).

По характеру используемого для описания математического аппарата различают модели лингвистические, теоретико-множественные, абстрактно-алгебраические, нечеткие, автоматные и т.п.

Например, на [системном уровне](#) преимущественно применяют модели [систем массового обслуживания](#) и [сети Петри](#), на [функционально-логическом уровне](#) — автоматные модели на основе аппарата передаточных функций или конечных автоматов, на [макроуровне](#) — системы алгебро-дифференциальных уравнений, на [микроуровне](#) — дифференциальные уравнения в частных производных. Особое место занимают [геометрические модели](#), используемые в системах конструирования.

Кроме того, введены понятия [полных моделей](#) и [макромоделей](#), моделей статических и динамических, детерминированных и стохастических, аналоговых и дискретных, символических и численных.

Полная модель объекта в отличие от макромодели описывает не только процессы на внешних выводах моделируемого объекта, но и внутренние для объекта процессы.

Статические модели описывают статические состояния, в них не присутствует время в качестве независимой переменной. Динамические модели отражают поведение системы, т.е. в них обязательно используется время.

Стохастические и детерминированные модели различаются в зависимости от учета или неучета случайных факторов.

[Информационные модели](#) относятся к информационной страте [автоматизированных систем](#), их используют прежде всего при инфологическом проектировании баз данных (БД) для описания связей между единицами информации.

Наибольшие трудности возникают при создании моделей слабоструктурированных систем, что характерно прежде всего для [системного уровня](#) проектирования. Здесь значительное внимание уделяется экспертным методам. В [теории систем](#) сформулированы общие рекомендации по подбору экспертов при разработке модели, организации экспертизы, по обработке полученных результатов. Достаточно общий подход к построению моделей сложных слабоструктурированных систем выражен в [методиках IDEF](#).

Обычно в имитационных моделях фигурируют величины, характеризующие состояние моделируемой системы и называемые [фазовыми переменными](#). Так, на макроуровне имитационные модели представляют собой системы алгебро-дифференциальных уравнений

$$\Phi\left(\frac{d\mathbf{V}}{dt}, \mathbf{V}, t\right) = 0, \text{ при } t = 0, \mathbf{V} = \mathbf{V}_0, \quad (1)$$

где \mathbf{V} — вектор фазовых переменных; t — время; \mathbf{V}_0 — вектор начальных условий. К фазовым переменным можно отнести токи и напряжения в электрических системах, силы и скорости — в механических, давления и расходы — в гидравлических.

В [аналоговых моделях](#) фазовые переменные — непрерывные величины, в [дискретных моделях](#) — дискретные, в частном случае дискретные модели являются логическими (булевыми), в них состояние системы и ее элементов описывается булевыми величинами. В ряде случаев полезно применение [смешанных моделей](#), в которых одна часть [подсистем](#) характеризуется аналоговыми моделями, другая — логическими.

[Выходные параметры](#) систем могут быть двух типов. Во-первых, это параметры-

функционалы, т.е. функционалы зависимостей $\mathbf{V}(t)$ в случае использования (1). Примеры таких параметров: амплитуды сигналов, временные задержки, мощности рассеивания и

т.п. Во-вторых, это параметры, характеризующие способность проектируемого объекта работать при определенных внешних условиях. Эти выходные параметры являются граничными значениями диапазонов внешних переменных, в которых сохраняется работоспособность объекта.

В автоматизированных [проектных процедурах](#) вместо еще не существующего проектируемого объекта оперируют некоторым квазиобъектом — [моделью](#), которая отражает некоторые интересующие исследователя свойства объекта. Модель может быть физическим объектом (макет, стенд) или спецификацией. Среди моделей-спецификаций различают функциональные, поведенческие, информационные, [структурные модели](#) (описания). Эти модели называют [математическими моделями](#), если они формализованы средствами аппарата и языка математики.

В свою очередь, математические модели могут быть геометрическими, топологическими, динамическими, логическими и т.п., если они отражают соответствующие свойства объектов. Наряду с математическими моделями при проектировании используют [функциональные модели](#), [информационные модели](#) в виде диаграмм сущность-отношение, [геометрические модели](#) (чертежи). В дальнейшем, если нет специальной оговорки, под словом "модель" будем подразумевать математическую модель.

Математическая функциональная модель в общем случае представляет собой алгоритм вычисления вектора [выходных параметров](#) Y при заданных векторах параметров элементов ([внутренних параметров](#)) X и [внешних параметров](#) Q .

Математические модели могут быть символическими и численными. При использовании символических моделей оперируют не значениями величин, а их символическими обозначениями (идентификаторами). Численные модели могут быть [аналитическими моделями](#), т.е. их можно представить в виде явно выраженных зависимостей выходных параметров Y от параметров внутренних X и внешних Q , или [алгоритмическими моделями](#), в которых связь Y , X и Q задана неявно в виде алгоритма [моделирования](#).

Важнейший частный случай алгоритмических моделей — [имитационные модели](#), они отображают процессы в системе при наличии внешних воздействий на систему. Другими словами, имитационная модель — это алгоритмическая [поведенческая модель](#).

Классификацию математических моделей выполняют также по ряду других признаков. Так, в зависимости от принадлежности к тому или иному иерархическому уровню выделяют модели уровней системного, функционально-логического, макроуровня (сосредоточенного) и микроуровня (распределенного).

По характеру используемого для описания математического аппарата различают модели лингвистические, теоретико-множественные, абстрактно-алгебраические, нечеткие, автоматные и т.п.

Например, на [системном уровне](#) преимущественно применяют модели [систем массового обслуживания](#) и [сети Петри](#), на [функционально-логическом уровне](#) — автоматные модели на основе аппарата передаточных функций или конечных автоматов, на [макроуровне](#) — системы алгебро-дифференциальных уравнений, на [микроуровне](#) — дифференциальные уравнения в частных производных. Особое место занимают [геометрические модели](#), используемые в системах конструирования.

Кроме того, введены понятия [полных моделей](#) и [макромоделей](#), моделей статических и динамических, детерминированных и стохастических, аналоговых и дискретных, символических и численных.

Полная модель объекта в отличие от макромодели описывает не только процессы на внешних выводах моделируемого объекта, но и внутренние для объекта процессы.

Статические модели описывают статические состояния, в них не присутствует время в качестве независимой переменной. Динамические модели отражают поведение системы, т.е. в них обязательно используется время.

Стохастические и детерминированные модели различаются в зависимости от учета или неучета случайных факторов.

[Информационные модели](#) относятся к информационной страте [автоматизированных систем](#), их используют прежде всего при инфологическом проектировании баз данных (БД) для описания связей между единицами информации.

Наибольшие трудности возникают при создании моделей слабоструктурированных систем, что характерно прежде всего для [системного уровня](#) проектирования. Здесь значительное внимание уделяется экспертным методам. В [теории систем](#) сформулированы общие рекомендации по подбору экспертов при разработке модели, организации экспертизы, по обработке полученных результатов. Достаточно общий подход к построению моделей сложных слабоструктурированных систем выражен в [методиках IDEF](#).

Обычно в имитационных моделях фигурируют величины, характеризующие состояние моделируемой системы и называемые [фазовыми переменными](#). Так, на макроуровне имитационные модели представляют собой системы алгебро-дифференциальных уравнений

$$\Phi\left(\frac{d\mathbf{V}}{dt}, \mathbf{V}, t\right) = 0, \text{ при } t = 0, \mathbf{V} = \mathbf{V}_0, \quad (1)$$

где \mathbf{V} — вектор фазовых переменных; t — время; \mathbf{V}_0 — вектор начальных условий. К фазовым переменным можно отнести токи и напряжения в электрических системах, силы и скорости — в механических, давления и расходы — в гидравлических.

В [аналоговых моделях](#) фазовые переменные — непрерывные величины, в [дискретных моделях](#) — дискретные, в частном случае дискретные модели являются логическими (булевыми), в них состояние системы и ее элементов описывается булевыми величинами. В ряде случаев полезно применение [смешанных моделей](#), в которых одна часть [подсистем](#) характеризуется аналоговыми моделями, другая — логическими.

[Выходные параметры](#) систем могут быть двух типов. Во-первых, это параметры-

функционалы, т.е. функционалы зависимостей $\mathbf{V}(t)$ в случае использования (1). Примеры таких параметров: амплитуды сигналов, временные задержки, мощности рассеивания и т.п. Во-вторых, это параметры, характеризующие способность проектируемого объекта работать при определенных внешних условиях. Эти выходные параметры являются граничными значениями диапазонов внешних переменных, в которых сохраняется работоспособность объекта.

Создать [проект](#) объекта (изделия или процесса) означает выбрать структуру объекта, определить значения всех его параметров и представить результаты в установленной форме. Результаты (проектная документация) могут быть выражены в виде чертежей, схем, пояснительных записок, программ для программно-управляемого технологического оборудования и других документов на бумаге или на машинных носителях информации. Разработка (или выбор) структуры объекта есть [проектная процедура](#), называемая [структурным синтезом](#), а расчет (или выбор) значений параметров элементов \mathbf{X} — процедура [параметрического синтеза](#).

Задача структурного синтеза формулируется в [системотехнике](#) как [задача принятия решений](#) (ЗПР). Ее суть заключается в определении цели, множества возможных решений и ограничивающих условий.

Классификацию ЗПР осуществляют по ряду признаков. По числу критериев различают задачи одно- и многокритериальные. По степени неопределенности различают ЗПР детерминированные, ЗПР в условиях риска — при наличии в формулировке задачи

случайных параметров, ЗПР в условиях неопределенности, т.е. при неполноте или недостоверности исходной информации.

Реальные задачи проектирования, как правило, являются многокритериальными.

Одна из основных проблем постановки многокритериальных задач — установление правил предпочтения вариантов. Способы сведения многокритериальных задач к однокритериальным и последующие пути решения изучаются в дисциплинах, посвященных методам [оптимизации](#) и [математическому программированию](#).

Наличие случайных факторов усложняет решение ЗПР. Основные подходы к решению ЗПР в условиях риска заключаются или в решении "для наихудшего случая", или в учете в [целевой функции](#) математического ожидания и дисперсии [выходных параметров](#). В первом случае задачу решают как детерминированную при завышенных требованиях к качеству решения, что является главным недостатком подхода. Во втором случае достоверность результатов решения намного выше, но возникают трудности с оценкой целевой функции. Применение [метода Монте-Карло](#) в случае [алгоритмических моделей](#) становится единственной альтернативой и, следовательно, для решения требуются значительные вычислительные ресурсы.

Существуют две группы ЗПР в условиях неопределенности. Одна из них решается при наличии противодействия разумного противника. Такие задачи изучаются в теории игр, для задач проектирования в технике они не характерны. Во второй группе достижению цели противодействие оказывают силы природы. Для их решения полезно использовать теорию и методы нечетких множеств.

При синтезе структуры [автоматизированной системы](#) постановка задачи должна включать в качестве исходных данных следующие сведения:

- множество выполняемых системой функций (другими словами, множество работ, каждая из которых может состоять из одной или более операций); возможно, что в этом множестве имеется частичная упорядоченность работ, что может быть представлено в виде ориентированного графа, в котором вершины соответствуют работам, а дуги — отношениям порядка;
- типы допустимых для использования [серверов](#) (машин), выполняющих функции системы;
- множество внешних источников и потребителей информации;
- во многих случаях задается также некоторая исходная структура системы в виде взаимосвязанной совокупности серверов определенных типов; эта структура может рассматриваться как обобщенная избыточная или как вариант первого приближения;
- различного рода ограничения, в частности, ограничения на затраты материальных ресурсов и (или) на времена выполнения функций системы.

Задача заключается в синтезе (или коррекции) структуры, определении типов серверов (программно-аппаратных средств), распределении функций по серверам таким образом, чтобы достигался экстремум целевой функции при выполнении заданных ограничений. Конструирование, разработка технологических процессов, оформление проектной документации — частные случаи [структурного синтеза](#).

Задачу [параметрического синтеза](#) называют параметрической оптимизацией (или [оптимизацией](#)), если ее решают как задачу [математического программирования](#), т.е.

$$\text{extr } F(\mathbf{X}), \mathbf{X} \in \mathbf{D}_X,$$

где $F(\mathbf{X})$ — [целевая функция](#); \mathbf{X} — вектор [управляемых параметров](#) (называемых также

проектными или варьируемыми); $D_x = \{ X \mid \Phi(X) < 0, \Psi(X) = 0 \}$ — допустимая

область; $\Phi(X)$ и $\Psi(X)$ — функции-ограничения.

Пример 1

Электронный усилитель: управляемые параметры X = (параметры резисторов, конденсаторов, транзисторов); выходные параметры $Y = (f_v \text{ и } f_n$ — верхняя и нижняя граничные частоты полосы пропускания; K — коэффициент усиления на средних частотах; $R_{вх}$ — входное сопротивление). В качестве целевой функции $F(X)$ можно выбрать параметр f_v , а условия работоспособности остальных выходных параметров отнести к функциям-ограничениям.

Следующая после синтеза группа проектных процедур — процедуры [анализа](#). Цель анализа — получение информации о характере функционирования и значениях [выходных параметров](#) Y при заданных структуре объекта, сведениях о [внешних параметрах](#) Q и параметрах элементов X . Если заданы фиксированные значения параметров X и X , то имеет место процедура [одновариантного анализа](#). Одновариантный анализ часто выполняется с помощью [моделирования](#).

Моделирование состоит из этапов [формирования модели](#) (modeling) и [исследования модели](#) (решения, simulation). В свою очередь, формирование модели включает две процедуры: во-первых, разработку моделей отдельных компонентов, во-вторых, формирование модели системы из моделей компонентов.

Первая из этих процедур выполняется предварительно по отношению к типовым компонентам вне маршрута проектирования конкретных объектов. Как правило, модели компонентов разрабатываются специалистами в прикладных областях, причем знающими требования к моделям и формам их представления в САПР. Обычно в помощь разработчику моделей в САПР предлагаются методики и вспомогательные средства, например, в виде программ анализа для экспериментальной отработки моделей. Созданные модели включаются в библиотеки моделей прикладных программ анализа. На [маршруте проектирования](#) каждого нового объекта выполняется вторая процедура (рис. 1) — формирование модели системы с использованием библиотечных моделей компонентов. Как правило, эта процедура выполняется автоматически по алгоритмам, включенным в заранее разработанные программы анализа. Примеры таких программ имеются в различных приложениях и прежде всего в отраслях общего машиностроения и радиоэлектроники.

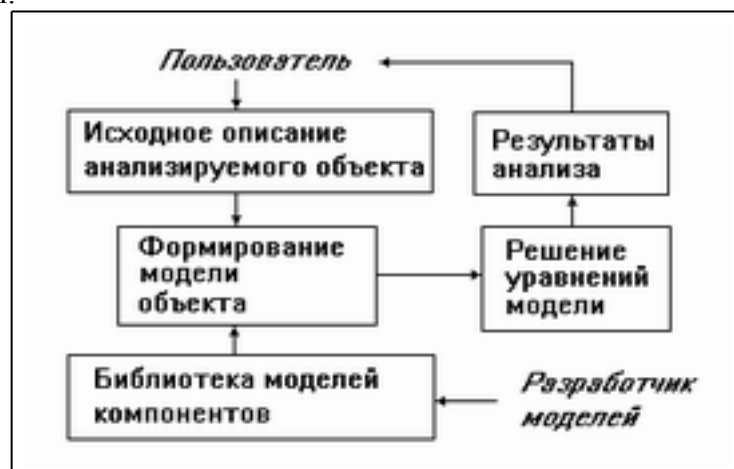


Рис. 1. Формирование модели системы

При применении этих программ пользователь описывает исследуемый объект на входном языке программы анализа не в виде системы уравнений, которая будет получена автоматически, а в виде списка элементов структуры, [эквивалентной схемы](#), эскиза или

чертежа конструкции.

Вторая процедура моделирования — simulation — сводится к решению уравнений математической модели, например, системы дифференциальных уравнений, и вычислению вектора выходных параметров \mathbf{Y} .

Если заданы статистические сведения о параметрах \mathbf{X} и нужно получить оценки числовых характеристик распределений выходных параметров (например, оценки математических ожиданий и дисперсий), то это процедура статистического анализа. Если требуется рассчитать матрицы абсолютной \mathbf{A} и (или) относительной \mathbf{B} чувствительности, то имеет место задача анализа чувствительности.

Элемент $A_{j\bar{i}}$ матрицы \mathbf{A} называют абсолютным коэффициентом чувствительности,

он представляет собой частную производную J -го выходного параметра y_j по i -

ому параметру x_i . Другими словами, $A_{j\bar{i}}$ является элементом вектора градиента J -го выходного параметра. На практике удобнее использовать безразмерные относительные

коэффициенты чувствительности $B_{j\bar{i}}$, характеризующие степень влияния изменений параметров элементов на изменения выходных параметров:

$$B_{j\bar{i}} = \frac{A_{j\bar{i}} x_{i\text{ном}}}{y_{j\text{ном}}}$$

где $x_{i\text{ном}}$ и $y_{j\text{ном}}$ — номинальные значения параметров x_i и y_j соответственно.

В процедурах многовариантного анализа определяется влияние внешних параметров, разброса и нестабильности параметров элементов на выходные параметры. Процедуры статистического анализа и анализа чувствительности — характерные примеры процедур многовариантного анализа.

Выполнение анализа и сопоставление полученных результатов с желаемыми значениями называют процедурой верификации.