

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА. МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Цель работы: освоить методику описания технических объектов для установления их преимуществ перед аналогами; освоить понятие «модель технического объекта» как определенного ориентира для дальнейшего процесса проектирования.

Время выполнения работы – 6 часов.

Порядок выполнения работы:

1. На основе исходной информации освоить понятие «технический объект».
2. Изучить методику описания технических объектов.
3. Кратко познакомиться с основными методами моделирования технических объектов.
4. Подготовить отчет о результатах выполнения пунктов 1, 2, 3.

Задание 1. Изучите методику описания технических объектов.

Техническим объектом (ТО) называют созданное человеком или *автоматом* реально существующее или *существовавшее* устройство, предназначенное для удовлетворения определенной потребности. К техническим объектам можно отнести отдельные машины, аппараты, приборы, ручные орудия труда, одежду, здания и другие устройства, выполняющие определенную функцию по преобразованию объектов живой и неживой природы, энергии или информационных сигналов. К ТО также относятся отдельные элементы (агрегаты, блоки, узлы, детали), из которых состоят машины, аппараты, приборы. Комплекс взаимосвязанных машин, аппаратов, приборов также рассматривают как технический объект. Такими комплексами являются технологическая линия, цех, завод и др.

Существует иерархическое соподчинение технических объектов разных уровней. Так, например, машины или станки, являющиеся элементами технологической линии или цеха, могут быть разделены на агрегаты или блоки, которые, в свою очередь, состоят из узлов и деталей. В связи с этим вводится понятие *надсистемы*, которое часто

используется в ряде методов инженерного творчества. В связи с этим в качестве синонима понятия «технический объект» часто используется понятие «техническая система». Почти у каждого технического объекта существует надсистема, то есть другой технический объект, в который он функционально включается или входит как отдельный элемент. Любой технический объект участвует в выполнении некоторой четко определенной последовательности действий; в связи с этим вводится понятие технологии.

Технология – способ, метод или программа преобразования вещества, энергии или информационных сигналов из заданного начального состояния в заданное конечное состояние с помощью определенных технических объектов.

Таким образом, рассмотренные понятия технического объекта и технологии тесно связаны между собой (в данном курсе мы рассматриваем основы и методы решения творческих задач, относящихся к техническим объектам). Так, описание технического объекта включает не только его структуру, но и функционирование, то есть содержит описание технологии, реализуемой с помощью этого технического объекта. Соответственно, инженерное творчество способствует совершенствованию как технических объектов, так и технологий.

Каждый технический объект может быть представлен **описаниями**, имеющими иерархическую соподчиненность. Описания характеризуются двумя свойствами:

1) каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует технический объект по сравнению с предыдущим;

2) каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Таковыми свойствами обладают следующие описания:

- потребность (или функция) ТО;
- техническая функция (ТФ);
- функциональная структура (ФС);
- физический принцип действия (ФПД);
- техническое решение (ТР);
- проект.

Схематично иерархия описаний технического объекта представлена на рисунке 1.

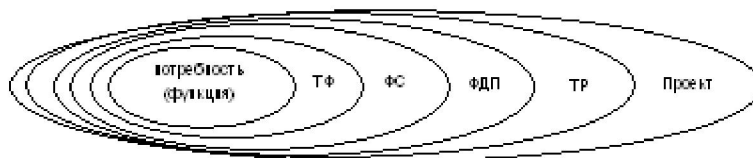


Рисунок 1 – Иерархия описаний технического объекта

Потребность

Потребность – это общепринятое и краткое описание на естественном языке назначения технического объекта или цели его создания. Описание потребности должно включать следующую информацию:

- необходимое действие (наименование действия);
- объект (предмет обработки), на которое направлено это действие;
- особые условия и ограничения.

Описание потребности формализованно можно представить в виде трех компонент:

$$P = (D, G, H), \quad (1)$$

где D – указание *действия*, производимого рассматриваемым техническим объектом и приводящего к удовлетворению интересующей потребности;

G – указание *объекта* или предмета обработки, на который направлено действие D ;

H – указание *особых условий* и ограничений, при которых выполняется действие D .

В таблице 1 приведены примеры покомпонентного описания потребности.

Таблица 1 – Примеры описания потребности

Наименование ТО	D (действие)	G (объект обработки)	H (условия и ограничения)
Светильник	Освещение (освещает)	Помещение	–
Электроплитка	Нагревание (нагревает)	Емкость с жидкостью	–
Мельница	Размалывание (размалывает)	Зерно	В муку
Грузовой автомобиль	Перевозка (перевозит)	Грузы	По дороге
Электрический термометр	Измерение (измеряет)	Температура среды	–

Между потребностью и функцией существует некоторое отличие. Понятие потребности всегда связано с человеком, поставившим задачу реализации потребности и выполняющим проектирование соответствующего технического объекта и его изготовление. Понятие функции всегда связано с техническим объектом, реализующим эту потребность. Человек часто выступает в двух качествах: как субъект, формулирующий потребность, и как элемент ТО, реализующий эту потребность. Для указания действия при описании потребности используют существительное (отглагольное), а при описании функции используют глагол (см. табл. 1: освещение (освещает) и т.д.).

Техническая функция

Описание *технической функции (ТФ)* содержит следующую информацию:

- потребность, которую может удовлетворить технический объект;
- физическую операцию, с помощью которой реализуется потребность.

Описание технической функции формализованно можно представить в виде двух компонентов:

$$F = (P, Q), \quad (2)$$

где P – удовлетворяемая потребность, описываемая по формуле (1);
 Q – физическая операция.

Описание физической операции (ФО), в свою очередь, формализованно можно представить в виде трех компонентов:

$$Q = (A_T, E, C_T), \quad (3)$$

где A_T , C_T – соответственно входной и выходной потоки вещества, энергии или сигналов;

E – наименование операции.

Это описание отвечает на вопросы «что?» (A_T), «как?» (E), «во что?» (C_T), преобразуется с помощью описываемого технического объекта.

В таблице 2 приведены примеры описания физических операций для технических объектов из таблицы 1.

Таблица 2 – Описание физических операций

Наименование ТО	A_T (чаще существует несколько взаимосвязанных потоков)	E (наименование операций)	C_T
Светильник	Электрический ток	Преобразование	Световой поток (тепловой поток)
Электроплитка	Электрический ток	Преобразование	Теплота (свет)
Мельница	Зерно + механическая энергия	Соединение	Мука
Грузовой автомобиль	Топливо	Преобразование	Движение груза (теплота)
Электрический термометр	Температура среды	Преобразование и сравнение	Электрический ток

Функциональная структура технического объекта

Конструктивная функциональная структура (КФС) отображает физическую связь между отдельными элементами.

Потоковая функциональная структура (ПФС) – взаимосвязь между элементами; элементы реализуют различные физические операции, образуя при этом поток преобразованного вещества, энергии, сигналов.

Большинство технических объектов состоит из нескольких элементов (агрегатов, блоков, узлов). Каждый элемент может рассматриваться как самостоятельный технический объект. Между элементами существует два вида связей и соответственно два вида их структурной организации (конструктивная функциональная структура и потоковая функциональная структура).

Во-первых, элементы имеют определенные функциональные связи друг с другом, которые образуют конструктивную функциональную структуру, такая структура содержит как наименования элементов, так и их функции.

Во-вторых, между элементами имеются потоковые связи. При этом элементы ТО реализуют определенные физические операции, образуя поток преобразуемых или превращаемых веществ, энергии, сигналов или других факторов. Например, в гидроэлектростанции на

входе имеется поток воды, а на выходе – электрический ток; в вальцовом станке мукомольного предприятия на входе – зерно с определенными физическими параметрами, а на выходе – продукт измельчения. В этом случае говорят, что между элементами существуют потоковые связи.

Такие потоки объединяют и связывают элементы технического объекта и соответственно их физические операции. В сложных технических объектах часто присутствует несколько взаимосвязанных потоков. Взаимосвязанный набор физических операций, реализующих один определенный поток преобразований вещества, энергии или сигналов, либо несколько взаимосвязанных потоков, называют потоковой функциональной структурой. Различают две разновидности потоковой функциональной структуры:

1) конкретизированная потоковая функциональная структура. Она содержит наименования элементов, а также входные A_T и выходные C_T потоки;

2) абстрагированная потоковая функциональная структура. Она содержит наименования операций E , а также входные A_T и выходные C_T потоки. Абстрагированную потоковую функциональную структуру называют также структурой физических операций.

Таким образом, существуют функциональные структуры технических объектов двух видов: конструктивная ФС и потоковая ФС, которые дополняют друг друга. При решении различных прикладных задач используют или только конструктивную ФС, или потоковую ФС, или одновременно обе разновидности.

В потоковой функциональной структуре каждый элемент реализует определенную физическую операцию, то есть ТО должен иметь такую конструктивную ФС, чтобы обеспечить нужную потоковую ФС. Реализация физической операции происходит на основе одного или нескольких физико-технических эффектов. Под физико-техническими эффектами понимают различные приложения физических законов, закономерностей и следствий из них, физические эффекты и явления, которые могут быть использованы в технических устройствах.

Обобщенное качественное описание физико-технического эффекта (так же как и физической операции) можно представить в виде трех компонент:

$$\text{ФТЭ} = (A, B, C, \dots) \text{ФО} = (A_T, E, C_T), \quad (4)$$

где А – входной поток вещества, энергии или сигналов;

С – выходной поток;

В – физический объект, обеспечивающий преобразование А в С.

Примечание. Сопоставьте: при описании физических операций тоже использовались входной и выходной поток вещества, но вместо физического объекта использовалось наименование операции.

В таблице 3 приведены примеры описания физико-технических эффектов.

Таблица 3 – Примеры описания технических объектов

Наименование физико-технического эффекта	А (входной поток)	В (физический объект)	С (выходной поток)
Закон Гука	Сила	Твердое тело	Линейная деформация
Закон Джоуля-Ленца	Электрический ток	Проводник	Теплота
Термоэлектронная эмиссия	Нагревание	Оксидная суспензия	Поток электронов

Физический принцип действия

Описание *физического принципа действия (ФПД)* включает наименования физических объектов В, а также входные А и выходные С потоки вещества, энергии или сигналов. Таким образом, во многих случаях физический принцип действия легко построить с помощью потоковой функциональной структуры путем замены наименований элементов (что было – что стало: зерно – мука) или физических операций на наименования объектов В.

Описание физического принципа действия, как правило, содержит изображение принципиальной схемы ТО, в которой в упрощенной форме показаны основные конструктивные элементы, обеспечивающие реализацию физического принципа действия, и указаны направления потоков и основные физические величины, характеризующие используемые физико-технические эффекты. Принципиальная схема облегчает последующую разработку технического решения.

Техническое решение

Техническое решение (ТР) представляет собой конструктивное оформление физического принципа действия или функциональной структуры. Техническое решение конкретного технического объекта, как правило, описывается в виде двухуровневой структуры через характерные признаки технического объекта в целом и его элементов. При этом используют следующие группы признаков:

- указание (перечень) основных элементов;
- взаимное расположение элементов в пространстве;
- способы и средства соединения и связи элементов между собой;
- последовательность взаимодействия элементов во времени;
- особенности конструктивного исполнения элементов (геометрическая форма, материал и др.);
- принципиально важные соотношения параметров для технического объекта в целом или отдельных элементов.

В зависимости от вида рассматриваемого технического объекта, элементом может быть часть детали, деталь, узел, блок, агрегат, техническая система (ТС), комплекс технических систем (ТС).

При описании технических решений некоторых технических объектов может использоваться только часть признаков.

Техническое решение конкретного технического объекта может быть описано с любой степенью детализации. Для этого используют иерархический набор двухуровневых описаний технических решений, то есть сначала описывают техническое решение устройства в целом, затем техническое решение каждого блока, далее – каждого узла и т. д. Описание технического решения дополняют его графическим изображением. Во всех патентных и авторских свидетельствах на устройства дается описание технического решения прототипа и нового решения.

Пример описания ТР для ТУ, которым является велосипед.

Велосипед состоит из следующих элементов:

- переднего колеса, на ось которого опираются концы передней вилки;

- передней вилки, соединенной с рамой шарниром, обеспечивающим поворот вилки вокруг вертикальной (или близкой к вертикальной) оси;
- руля, жестко соединенного с вилкой;
- рамы, сваренной из металлических трубок, и имеющих сзади вилок, концы которых соединены между собой;
- седла, жестко соединенного с верхним узлом рамы;
- педалей, соединенных цепной передачей с задним колесом;
- заднего колеса, на ось которого опираются концы вилок.

При вращении педалей вращающий момент посредством цепной передачи передается от оси педалей на заднее колесо, которое служит двигателем и обеспечивает движение велосипеда. Руль обеспечивает управление движением на поворотах.

Если требуется более детальное описание движения велосипеда, то аналогично описывают ТР некоторых элементов. Например, переднее колесо состоит из оси, опирающейся через два шарикоподшипника на втулку; металлического обода с резиновой пневмошиной; 36 спиц, соединяющих с предварительным натяжением втулку с ободом.

ТР представляет собой как бы безразмерное описание ТО и может иметь самые различные реализации по параметрам. К параметрам относят размеры ТО и его элементов, количественные характеристики входных и выходных потоков и другие измеряемые свойства. Например, асинхронный электродвигатель при одинаковом техническом решении имеет десятки модификаций по размерам, силе тока, напряжению, частоте, частоте вращения, мощности и т. д.

Проект

В отличие от технического решения, которое может иметь любую степень детализации, проект должен содержать указания значений параметров технического объекта и всех его элементов. Он содержит всю необходимую информацию для изготовления и эксплуатации технического объекта. В зависимости от сложности технического объекта описание проекта может составлять от нескольких до

сотен томов. В данном курсе под проектом будем подразумевать рабочие чертежи и конструкторскую документацию.

При разработке любого технического объекта, когда ставится цель получить изделие выше уровня лучших мировых образцов, конструктору предстоит решить иерархическую последовательность задач выбора проектно-конструкторских решений. Эта последовательность в большой степени соответствует иерархии описаний технического объекта (см. рис. 2–3).

Задача 1. Составляется и уточняется описание потребности (P). Потребность P включает три компонента: действие D, объект G, ограничения H. При этом наряду с качественным описанием (D, G, H) указывают их основные количественные характеристики.

Задача 2. Реализация одной и той же потребности (P) осуществляется через техническую функцию технического объекта (техническая функция F = потребность P, физическая операция Q). При этом альтернативных физических операций может быть несколько. Проектировщику предстоит выбрать наиболее перспективную из них.

Задача 3. Исходя из описаний потребности и физических операций возможно построение нескольких альтернативных функциональных структур, из которых также предстоит выбрать наиболее рациональную.

Задача 4. В каждой функциональной структуре отдельные элементы выполняют определенные физические операции, которые основаны на различных физико-технических эффектах. В связи с этим может быть синтезировано большое количество возможных физических принципов действия, из которых также предстоит выбрать наиболее эффективный вариант.

Задача 5. Один и тот же ФПД может быть реализован несколькими (иногда сотнями и тысячами) техническими решениями, из которых предстоит выбрать лучшее решение.

Задача 6. При описании проекта производится выбор параметров технического объекта и его элементов (из бесконечного множества возможных вариантов).

В данном случае все эти типы задач можно отнести к творческим инженерным задачам, но в большей степени этому признаку соответствуют задачи 3, 4 и 5 типов.

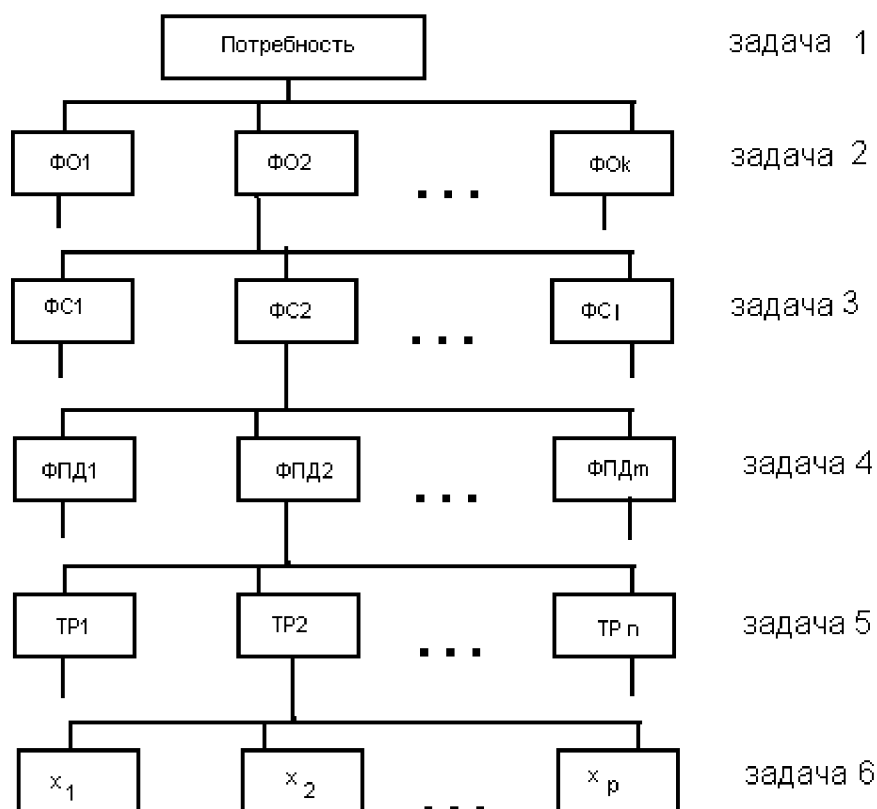


Рисунок 2 – Иерархия задач выбора проектно-конструкторских решений

Все перечисленные задачи поиска и выбора проектно-конструкторских решений характеризуются следующим: с повышением уровня задачи (от типа 6 до типа 1) ее успешное решение дает больший экономический эффект, вызывает более заметный технический прогресс в данной области и обеспечивает разработку изделий с большим сроком морального старения. Так, например, решение задачи 6 обычно улучшает интересующие технико-экономические показатели изделий на 10-15 %, решение задачи 5 – на 20-30 %, задачи 4 – на 30-50 % (иногда в несколько раз). Еще более важным оказывается обоснование новых физических операций (2) и потребностей (1).

В настоящее время (как и 100 лет назад), несмотря на научно-технический прогресс, будущим инженерам дают теоретические знания и навыки в основном только для решения задач типа 6.

Существуют многочисленные стандарты, инструкции и методические материалы по описанию проектов. В области патентования имеются инструкции и методики по описанию технических решений. Но для описания потребности, технической функции, функциональной структуры и физического принципа действия не существует инструк-

тивной и методической литературы. Это затрудняет постановку и решение задач типов 1-4 и не реализуется при подготовке инженеров.



Рисунок 3 – Пример иерархии или систематики технического объекта

Примечание к рисунку 3: ФО реализует ТФ. А описание ФО включает три компонента – входной, выходной потоки и наименование операции.

Каждый технический объект находится в определенном взаимодействии с окружающей средой. Для конкретного ТО в качестве окружающей среды могут выступать его надсистема, объекты неживой и живой природы и другие ТО, которые находятся в функциональном или вынужденном взаимодействии с рассматриваемым ТО и оказывают влияние на его проектно-конструкторское решение.

Взаимодействие ТО и окружающей среды (рис. 4) может происходить по нескольким каналам связи, которые можно разделить на две группы.

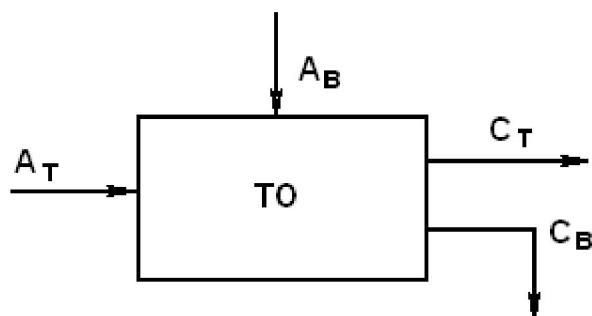


Рисунок 4 – Взаимодействие ТО с окружающей средой

Первая группа включает потоки вещества, энергии и сигналов, передаваемые от окружающей среды к техническому объекту. К ним относятся:

- A_T – функционально обусловленные входные воздействия (входные потоки в физической операции (ФО) как компонент описания ФО);
- A_B – вынужденные входные воздействия (температура, влажность, пыль, деятельность насекомых и т. д.).

Вторая группа включает потоки, которые передаются от рассматриваемого ТО окружающей среде:

- C_T – функционально обусловленные выходные воздействия (выходные потоки в ФО как компонент описания ФО);
- C_B – вынужденные выходные воздействия (загрязнения воды, земли, воздуха и т. д.).

В инженерных разработках список требований составляет ядро технического задания. Список требований представляет собой необходимый и достаточный набор требований, при выполнении которых изделие будет иметь ожидаемую работоспособность, эффективность и ремонтпригодность. Если в таком наборе не будет учтено и выполнено хотя бы одно требование, то в созданном ТО проявится хотя бы один существенный недостаток или он будет неработоспособен.

В процессе разработки технического объекта задают несколько иерархически взаимосвязанных списков требований, которые соответствуют отдельным этапам разработки (типам задач). При этом каждый последующий список больше предыдущего и включает его в себя.

В общем случае иерархию списков (рис. 5) ставят в соответствии с задачами выбора проектно-конструкторских решений, которые в свою очередь соответствуют иерархии описания технических объектов.

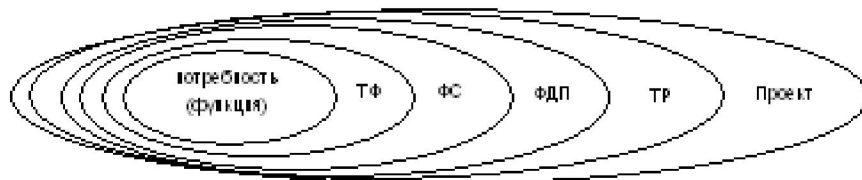


Рисунок 5 – Иерархия списков требований

Список требований 1 (СТ1) включает перечень количественных показателей производимого действия D, количественных показателей объекта (предмета обработки) G, на который направлено действие разрабатываемого ТО, количественных показателей особых условий и ограничений H, при которых выполняется действие. К таковым относятся надежность, вид и показатели используемой энергии, особые воздействия окружающей среды и т. д.

СТ2 может включать дополнительно перечень потоков веществ, энергии, сигналов на входе и выходе технического объекта или перечень требований и условий к выбору таких потоков; значения физических величин, характеризующих потоки; условия и ограничения на потоки, вызванные взаимодействием ТО с надсистемой и окружающей средой; условия и ограничения на потоки, связанные с их преобразованием внутри ТО. Таким образом, уточненный список требований в основном зависит от выбранных потоков на входе ТО.

СТ3 включает дополнительно наборы требований, аналогичные СТ1, СТ2, но относящиеся к функциональным элементам, из которых состоит ТО. Уточненный СТ3 зависит от принятой функциональной структуры.

СТ4, в дополнение к СТ1-СТ3, составляют для каждого выбранного физического принципа действия ФПД отдельно. В СТ4 входят условия и ограничения, накладываемые на выбор основных материалов, используемых при реализации физико-технических эффектов, а также условия и ограничения, вызванные сопутствующими (дополнительными) воздействиями реализуемых эффектов как на элементы ТО, так и на окружающую среду.

СТ5 содержит дополнительно наборы требований и соответствующих количественных показателей по массе, форме, габаритным размерам и компоновке; выбору используемых материалов и комплектующих изделий; способам и средствам соединения и связи элементов между собой; управлению и регулированию; безопасности эксплуатации; патентоспособности; лимитной цене и т. д. СТ5 в большой мере зависит от технического решения ТР.

СТ6 включает набор требований по выбору оптимальных параметров ТО, запасам прочности, устойчивости, надежности, серийности изготавливаемого ТО, используемому технологическому оборудованию, взаимозаменяемости, стандартизации и унификации, условиям эксплуатации, транспортирования и хранения, сроку окупаемости на разработку, освоение и т. д.

Задание 2. Изучите сущность понятия «модель технического объекта».

Теоретическая сущность понятия «модель технического объекта»

Общим качеством, присущим всем системам техники, является то, что они имеют потребительную стоимость, то есть полезность для общества или отдельного индивидуума. Полезность оценивается через выполняемое системой действие, через результат.

Однако эта полезность не дается человеку в чистом виде. Само существование искусственно созданных объектов, то есть преобразованных тел природы, предполагает, что технические объекты имеют и стоимость. Для получения желаемого результата необходимо создать саму систему и с ее помощью преобразовать некие ресурсы, то есть технический объект реализует в себе единство затрат и выигрыша. Их отношение лежит в основе практически всех систем оценки эффективности.

Понятие «модель технического объекта» непосредственно связано с необходимостью рассмотрения категории идеального.

Идеал в общественных науках и искусстве определяется энциклопедическим словарем как «идея, понятие, высшее совершенство, высшая конечная цель деятельности, стремлений, помыслов, совершенный образ, предел каких-либо мечтаний».

Два различных понятия идеального сливаются вместе в ситуации, когда мы строим идеальную модель технической системы.

Она соответствует научной идеализации, так как формирует образ системы через описание только ее полезной функции, и этот же образ может быть представлен как высшая конечная цель деятельности по совершенствованию технической системы.

Идеальные объекты создают определенный образ будущей конструкции. Существование этого образа связано с наличием у разработчика творческого воображения, фантазии.

Обычно разработчики находятся в тисках реально возможного, постоянно учитывают существующие ограничения. При работе с идеальным объектом эти ограничения могут быть существенно ослаблены или сняты вообще.

Исходя из всего вышесказанного, модель технического объекта, процесса или системы – упрощенное их представление, сохраняющее с некоторой точностью те их свойства, характеристики и параметры, которые интересуют исследователя.

Модели строятся с целью изучения свойств и характеристик, прогнозирования поведения проектируемых и реальных систем, исследовать которые непосредственно нецелесообразно или невозможно по каким-то причинам.

Классификация моделей уже достаточно давно давалась и дается в литературе, что свидетельствует, например, о трудности, а может быть и об отсутствии необходимости создания универсальной классификации.

Способы классификации определяются и точкой зрения авторов на предмет идентификации, и их личными предпочтениями. Это позволяет и нам уточнять классификацию моделей, согласуя ее с областью их применения.

По способу реализации модели можно разделить:

1) на физические – воспринимаемые органами чувств человека:

- масштабные – уменьшенные или увеличенные копии (модель самолета или корабля);

- аналоговые – механические, гидравлические, электронные и т. д. модели (АВМ);

- виртуальные – отображаемые на мониторе в графической и цифровой формах, в том числе модели, созданные в специализированных программах (VisSim, MBTU, MVS и др.), некоторые электронные игры, например, автогонки;

- макеты (муляжи), в т. ч. детские игрушки и т. п.;

2) математические – воспринимаемые умом, интеллектом человека:

- аналитические – набор формул, например, система уравнений в переменных состояниях;

- алгоритмические – задаются в виде алгоритма, связывающего выходные и внутренние сигналы модели со входными.

По степени соответствия модели реальному объекту:

1) на адекватные по точности – отображающие в области своей применимости с необходимой (заданной) точностью реальный объект;

2) физически состоятельные – истинные, по Н.В. Клиначеву, – опирающиеся на физические законы, характеризующие объект управления в области их применимости;

3) аппроксимации – ложные, по Н.В. Клиначеву, – построенные на основе приближенных или эмпирических формул, характеризующих объект.

По назначению (по способности работать в реальном времени):

1) на модели инвариантные к реальному времени (используются для изучения свойств реальных объектов и систем);

2) модели реального времени (real-time или hardware-in-loop модели), являющиеся составной частью реальной системы (используются либо для управления ею, либо для отладки).

По степени точности решателя:

1) графические модели – 10...5 %;

2) аналоговые модели – 1...0,01 %;

3) компьютерные модели, рассчитываемые процессором с плавающей точкой (не проявляется эффект квантования параметров) – 0,00...01 % (в мантиссе до 20 десятичных разрядов);

4) компьютерные модели, рассчитываемые процессором с фиксированной точкой (проявляется эффект квантования параметров) – 10...0,01 %.

По типу графов:

1) на модели на основе направленных графов (модели программ VisSim, Simulink, MBTY);

2) модели на основе ненаправленных графов (модели программы Electronics Workbench).

По виду направленного графа:

1) модели с последовательным графом (ПФ разложена на множители);

2) модели с параллельным графом (ПФ разложена на элементарные дроби);

3) модели на основе одного из двух универсальных графов, которые соответствуют стандартной форме записи передаточной функции;

4) модели с графами, специфика которых учитывает эффект квантования параметров;

5) модели с матричными графами (ABCD-граф или граф для решения уравнений в форме Коши).

По степени сложности модели могут характеризоваться:

1) порядком ее системы уравнений;

2) степенью вложенности блоков, то есть количеством иерархических уровней;

3) количеством иерархически подчиненных субмоделей.

По реализуемости модель может быть:

1) реализуемой;

2) нереализуемой.

Это далеко не весь спектр классификаций моделей технического объекта.

В дальнейшем работе будут рассмотрены в основном математические модели технических объектов, в частности диагностические модели, а также модель многоэлементного технического объекта. Это обусловлено необходимостью разработки методов и средств контроля текущего состояния технической системы и прогнозирования динамических моделей при диагностировании особенно важных при исследовании параметров вибрации.

В связи с этим основные свойства технического объекта как элемента системы характеризуются оператором L , который связывает входные и выходные сигналы $U_1(t)$ и $U_2(t)$, а также учитывает зависимость $U_2(t)$ от возмущающего фактора, порожденного собственными внутренними процессами. Качество функционирования зависит не только от конструктивных параметров, но и от возмущений, которые изменяются во времени и могут вызвать параметрический отказ системы.

В обобщенной модели существуют два вида характерных процессов: быстрые – вибрация и флуктуация эксплуатационных показателей, и медленные – изменения параметров.

Быстрые процессы определяют качество функционирования модели в рассматриваемый момент времени, а медленные – надежность систем.

Диагностические модели технических объектов

Технической диагностикой называется наука о распознавании состояния технической системы. Она изучает методы получения и оценки диагностической информации, диагностические модели и алгоритм принятия решения.

Целью технической диагностики является повышение надежности, безопасности и ресурса технических систем.

Сущность диагностики машин состоит в разработке и практической реализации алгоритмов оценки параметров технического состояния объекта диагностирования без его разборки в рабочих условиях по контролируемым параметрам.

Назначение диагностики – оценка степени отклонения технического состояния объекта диагностирования в текущий (контролируемый) момент времени, а также проверка работоспособности и правильности функционирования объекта, поиск дефектов, нарушающих работоспособность и правильность функционирования. При определении технического состояния объектов необходимо также решать задачи прогнозирования и задачи генеза (технической генетики). Назначение прогнозирования – предсказание технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени.

Технические системы состоят из большого числа взаимодействующих элементов, относительное перемещение которых порождает колебательные процессы, усиливающиеся или изменяющиеся при появлении дефектов.

В процессе превращения энергии источника в работу генерируются переменные силы, возбуждающие колебания. Эти колебания воспринимаются датчиками, и по ним делается заключение о состоянии механизма.

Назначение генеза – определение технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом. Задачи технической генетики возникают, например, в связи с расследованием аварий и их причин, когда техническое состояние объекта в рассматриваемое время отличается от состояния, в котором он был в прошлом, в результате появления первопричины, вызвавшей аварию. Эти задачи решаются путем определения возможных или вероятных предысторий, ведущих в настоящее состояние объекта.

К задачам технической диагностики относятся, например, задачи, связанные с определением срока службы объекта или с назначе-

нием периодичности его профилактических проверок и ремонтов. Эти задачи решаются путем определения возможных или вероятных эволюций состояния объекта, начинающихся в настоящий момент времени. Решение задач прогнозирования весьма важно, в частности, для организации технического обслуживания по состоянию (вместо обслуживания по срокам и по ресурсу).

Объект диагностирования (ОД) в технической диагностике – такой технический объект, относительно которого решается определенная диагностическая задача.

В общем случае, диагностическая задача – задача по установлению степени соответствия технического объекта предъявляемым к нему требованиям.

Принято различать две основные задачи: прямая диагностическая задача, или задача контроля технического состояния, и обратная диагностическая задача, или задача поиска дефектов.

Исходя из этого, общее определение диагностической модели сформулируем в следующем виде: **диагностическая модель** – любое знание, используемое в процессе решения диагностической задачи и представленное в определенной форме.

Спектр форм диагностических моделей широк – от образов дефектов и их признаков в сознании отдельного специалиста-практика по обслуживанию и ремонту ОД до математических конструкций, реализованных в формальных диагностических программах.

Отметим, что прямая и обратная задачи являются по существу выражением в технической диагностике двух фундаментальных подходов теории систем.

Задача контроля есть выражение функционального подхода; задача поиска дефектов – выражение структурного подхода. Традиционно, используя готовый математический аппарат, для решения первой задачи применяют абстрактные модели (дифференциальное уравнение заданного порядка, аналитическое выражение логической функции, абстрактный конечный автомат), а для решения второй – структурные модели (структурные, комбинационные, последовательностные схемы).

Выбор диагностического сигнала должен проводиться таким образом, чтобы он был достаточно информативен для оценки вектора r , его изменений.

Сложность вибрационных процессов, вызванных работой технического объекта и его элементов, различие физических моделей и

методов их математического описания на различных участках частотного диапазона послужили основанием для разбивки его на три поддиапазона:

- 1) диапазон низких частот (от 0 до 200-300 Гц);
- 2) диапазон средних частот (от 200-300 Гц до 1-2 кГц);
- 3) диапазон высоких частот (от 1-2 кГц до 10-20 кГц).

При рассмотрении диагностических моделей целесообразно ввести еще один поддиапазон: диапазон сверхвысоких частот (от 10-20 кГц до 100-200 кГц).

Полезность такого деления объясняется тем, что каждому диапазону свойственны свои возмущающие силы, своя физическая модель объекта как колебательной системы и своя диагностическая модель.

Низкочастотная вибрация носит преимущественно гармонический характер, так как одной из характерных причин ее является неуравновешенность вращающихся масс. Наиболее вероятными причинами низкочастотных колебаний являются неуравновешенность, нарушение соосности валов; нарушение геометрии узлов; периодические силы, создаваемые рабочим процессом.

Динамическая модель механизма в области низкочастотных колебаний представляет собой комбинацию сосредоточенных масс, связанных с упругими безынерционными элементами. Силы в этих моделях обычно носят детерминированный характер. Весь объект рассматривается как единая упругая система, исследование которой производится методами прикладной теории колебаний.

Колебания среднечастотного диапазона обусловлены:

- высшими гармониками сил неуравновешенности элементов, обусловленных наличием нелинейных элементов в системе;
- нарушением геометрии кинематических пар;
- динамическим взаимодействием элементов машины между собой и с окружающей средой.

Каждая диагностическая модель имеет свои особенности.

Диагностический эксперимент или процесс диагностирования состоит из отдельных испытаний, которые принято называть *элементарными проверками (ЭП)*.

Элементарная проверка есть акт однократной оценки определенного ДП. Оценка ДП производится в заранее фиксированных местах ОД, их принято называть *контрольными точками (КТ)*. Часто

ЭП называют парю, первая компонента которой – это определенное воздействие на ОД, а вторая – реакция ОД на это воздействие.

Соответственно, ОД, находящийся в разных технических состояниях, может выдавать разные реакции в одной и той же ЭП. При таком узком понимании ЭП можно различать три их вида.

Первый вид – фиксируется значение входного воздействия и наблюдается реакция в нескольких КТ (вид 1:М).

Второй вид – подается определенная последовательность входных воздействий и наблюдается последовательность реакций в одной КТ (вид М:1).

Третий вид – общий случай: подается последовательность входных воздействий и наблюдается более одной КТ (вид М:N).

Исход диагностического эксперимента всегда случаен, так как если он предопределен, то проводить его бессмысленно.

Таким образом, всякий процесс диагностирования включает последовательности ЭП при известных условиях и заданном наборе КТ.

В рамках структурного подхода понятие ЭП применяют также к отдельным частям ОД или их совокупностям. В этом случае предполагается доступность входов и выходов этих частей, какова мощность множества возможных ЭП (ВМП).

Термин «диагностическая модель» можно понимать в широком и в узком смыслах. В первом случае это понятие включает в себя в достаточном объеме все три вида перечисленных выше знаний. Назовем такую диагностическую модель полной.

Автору не известны научные работы, в которых бы формально описывалась полная диагностическая модель, хотя в практике диагностирования использование полных неформальных диагностических моделей – норма. Пример этому дают инструкции по техническому обслуживанию и ремонту сложных технических систем. В них обязательно есть раздел «возможные неисправности и методы их устранения», в котором, как правило, приводится таблица с перечнем дефектов, их диагностических показателей и методов их устранения.

В этой таблице сконцентрированы все три вида диагностических знаний. Кроме того, в инструкциях обычно точно сказано, с чего следует начать осмотр. Если обнаруживаются те или иные особенности функционирования ОД, то в инструкции сказано, какие дополнительные наблюдения или измерения необходимо сделать, какие профилактические мероприятия надо провести или, наконец, указывается действие, устраняющее дефекты.

Другими словами, описываются алгоритмы диагностирования и ремонта. В результате субъект диагностической деятельности, реализующий указания инструкции, может и не знать, какова причина неисправности. Инструкция составляется обычно группой квалифицированных специалистов с учетом опыта эксплуатации таких же или подобных систем.

Всякая диагностическая модель, формализующая процесс поиска, нужна для двух применений: для построения алгоритмов диагностирования и для построения эталонной модели.

При автоматизации процессов диагностирования алгоритм поиска дефектов служит основой для синтеза технических средств диагностирования, а эталонная модель является носителем исправного или технической неисправности в этих средствах.

Почему теоретическая диагностика до сих пор не имеет полных диагностических моделей? Одна из причин следующая: взять готовый математический аппарат и применить его к ограниченной этим аппаратом диагностической задаче – такова сегодня традиция в теории диагностирования.

С другой стороны, все три вида диагностических знаний не формализуются адекватно в рамках любого из существующих математических аппаратов.

Подобная ситуация имеет место и в других областях науки и практики.

Альтернатива установившейся традиции – сочетание формальных и неформальных методов анализа в рамках целостного единого процесса исследования. Реализация такого подхода возможна в развитии теории диагностических экспертных систем.

Модель, не содержащую в достаточном объеме хотя бы один из видов диагностических знаний, называют частной диагностической моделью.

Приведем несколько примеров частных диагностических моделей.

Если перечислены идентификаторы возможных дефектов, допускается существование способа оценки вектора ДП, определены необходимые априорные вероятности, то для поиска может быть использована схема Байеса, согласно которой по наибольшему значению апостериорной вероятности принимается решение о текущем одиночном дефекте.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что диагностические модели являются определенной разновидностью структурных

математических моделей для решения сугубо прикладных, диагностических задач.

Модель многоэлементного технического объекта

Система моделирования включает инструментарий автоматизации моделирования процессов массо-теплопереноса, выработки и распределения электроэнергии, состояния элементов оборудования, а также ряд инструментов, обеспечивающих двух- и трехмерную динамическую визуализацию имитируемых процессов на экране компьютера.

Модель объекта представляется системой алгебраических и дифференциальных уравнений, что обеспечивает возможность моделирования как статических состояний, так и переходных процессов в реальном времени.

Модель многоэлементного объекта в общем случае включает:

- модели технологических подсистем объекта (водяных, гидравлических, воздушных);
- модели электроэнергетической системы объекта (выработка и распределение электроэнергии);
- модели систем управления объектом, обеспечивающие имитацию как автоматических, так и ручных алгоритмов управления;
- модели состояния технологического оборудования объекта;
- модели развития факторов аварийных ситуаций на объекте (пожар, изменение газовой среды и ряд прочих, специфичных для объекта);
- модели состояния персонала, обслуживающего объект.

Опыт моделирования многоэлементных технических объектов, а также опыт, накопленный в процессе разработки инструментальных средств моделирования и исполнения моделей, может быть использован в довольно широком спектре, для чего необходимо обеспечить:

1. Анализ предметной области и постановку задачи на разработку математического описания объектов данной предметной области.
2. Определение класса моделей, составляющих математическое описание объекта, выработку допущений и ограничений.
3. Возможное проведение экспериментальных исследований на объекте для решения задач идентификации объекта, параметрической настройки моделей, оценку степени адекватности моделей.
4. Разработку инструментальных систем (при необходимости).

5. Разработку (доработку, переработку) систем мониторинга моделируемого объекта.
6. Разработку моделирующего блока.
7. Разработку необходимых баз данных.
8. Экспертную оценку полученных результатов.

При исследовании сложных технических систем с дискретным характером функционирования наиболее широкое применение получили аналитические и имитационные методы моделирования.

Одним из основных требований, предъявляемых к модели, является ее адекватность реальной системе, которая достигается за счет использования моделей с различным уровнем детализации, зависящим от особенностей структурно-функциональной организации системы и целей исследования. Процессы функционирования реальных систем невозможно описать полно и детально, что обусловлено существенной сложностью таких систем. Основная проблема при разработке модели состоит в нахождении компромисса между простотой ее описания и необходимостью учета многочисленных особенностей, присущих реальным системам. Попытка построить единую, универсальную модель обречена на неудачу ввиду ее необозримости и невозможности расчета.

Математическое моделирование многоэлементных технических систем должно базироваться на ряде принципов, обеспечивающих корректность и достоверность результатов моделирования и, в конечном счете, качественное проектирование систем.

Среди этих принципов можно выделить три основных принципа:

- 1) системный подход при решении задач анализа и синтеза;
- 2) принцип иерархического многоуровневого моделирования;
- 3) принцип множественности моделей.

В основе исследования многоэлементных технических систем с использованием математического моделирования лежит системный подход, конечной целью которого является системотехническое проектирование, направленное на построение системы с заданным качеством. Для решения задач проектирования необходимо располагать знаниями о том, как влияют различные способы структурно-функциональной организации на характеристики функционирования системы, то есть решать задачи системного анализа.

Принцип иерархического многоуровневого моделирования базируется на иерархическом описании исследуемой системы и процессов, протекающих в них. При этом система и протекающие в ней

процессы представляются семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения различных уровней абстрагирования, отличающихся рядом характерных особенностей и параметров, с помощью которых и описывается поведение системы.

Применительно к моделям многоэлементных технических систем с дискретным характером функционирования предлагается выделить два направления иерархии:

1) иерархия по вертикали, в которой деление моделей по уровням осуществляется в зависимости от структурно-функциональных особенностей системы;

2) иерархия по горизонтали, в которой деление моделей по уровням осуществляется в зависимости от методов их исследования.

В иерархии по вертикали, в общем случае, можно выделить три уровня моделей:

- уровень базовых моделей, содержащий простейшие модели, на основе которых строятся и могут быть рассчитаны другие более сложные модели второго и третьего уровней;

- уровень локальных моделей, отображающих отдельные особенности структурно-функциональной организации систем и позволяющих решать частные задачи анализа и синтеза;

- уровень глобальных моделей, наиболее полно отображающих структурные и функциональные особенности организации исследуемых систем и представляющих собой модели с высокой степенью детализации.

Модель используется при анализе движения деталей, соединенных в кинематические группы.

При анализе движения деталей, соединенных в кинематические группы, приходится опираться на ряд абстракций и допущений, которые приводит к определенным погрешностям, но в то же время позволяют вскрыть принципиальную сущность этих явлений и облегчают понимание механизма возникновения упруго-демпфированных колебаний.

Реальный механизм всегда имеет внутренние степени свободы, связанные с наличием зазоров в кинематических группах. Для диагностирования это обстоятельство является весьма существенным, так как механизм выступает в качестве системы со многими степенями свободы. Точная постановка задачи о движении реального механизма требует составления и решения многомерной системы дифференци-

альных уравнений, порядок которого равен удвоенному числу степеней свободы организма.

Первым шагом к упрощению задачи будет рассмотрение относительного движения элементов. Силы, действующие на детали со стороны сопряженных с ней элементов, будем считать заданными.

Элементы механизма во время работы совершают сложные движения, но следует отказаться от попытки проследить движение каждого элемента во всей его сложности. Необходимо сосредоточить внимание только на перемещении элементов относительно друг друга по паразитным степеням свободы.

Наибольший интерес представляет собой относительное движение элементов, соединенных в кинематическую схему – многомассовую систему.

Поведение подобного объекта описывается системой линейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + n_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 - \eta_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - c_2 (x_2 - x_1) &= \eta \dot{W}_1 + c_1 W_1, \\
 m_2 \ddot{x}_2 + \eta_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_2 (x_2 - x_1) - \eta_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - c_3 (x_3 - x_2) &= 0, \\
 m_i \ddot{x}_i + \eta (\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) + c_i (x_i - x_{i-1}) - \eta_{i+1} (\dot{x}_{i+1} - \dot{x}_i) - c_{i+1} (x_{i+1} - x_i) &= 0, \\
 m_{n-1} \ddot{x}_{n-1} + \eta_{n-1} (\dot{x}_{n-1} - \dot{x}_{n-2}) + c_{n-1} (x_{n-1} - x_{n-2}) - \eta_n (\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) - c_n (x_n - x_{n-1}) &= 0, \\
 m_n \ddot{x}_n + \eta_n (\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) + c_n (x_n - x_{n-1}) &= 0, \\
 i = 3, 4, \dots, n-2,
 \end{aligned}$$

где m_i – масса i -го элемента;

n_i – коэффициент демпфирования;

c_i – жесткость i -упругой связи;

W – абсолютное перемещение места установки;

x_j – абсолютное перемещение j -элемента.

При рассмотрении соударений элементов будем исходить из общих положений, позволяющих проследить зависимость между параметрами удара и величиной зазора в кинематической группе, характеризующую техническое состояние узла в соответствии с поставленными задачами исследователя.

Существенное влияние на моторесурс кинематической схемы оказывает характер взаимодействия сопрягаемых изделий.

Силы, действующие между сопряженными элементами, можно подразделить на квазистатические (постоянные или медленно меняющиеся), импульсные силы трения (демпфированные).

Особенность квазистатических взаимодействий заключается в том, что они не несут на себе информацию о техническом состоянии конкретных кинематических пар и не представляют практического интереса.

Импульсные взаимодействия возникают при соударении элементов. Они отличаются значительной величиной и малой длительностью процесса. В первый момент столкновения элементов деформация и напряжения локализуются только лишь в малом объеме материала, большая часть механизма остается в невозмущенном состоянии.

Лишь через некоторое время, равное примерно $\frac{L}{C}$, возмущение распространится по всему механизму и в нем начнется колебательный процесс, где L – характерный линейный размер механизма; C – скорость распространения упругих колебаний в материале механизма.

В отличие от импульсных и квазистатических взаимодействий, носящих в основном регулярный характер, действие сил трения проявляется в виде последовательных хаотических толчков малой интенсивности и длительности. С трением связаны широкополосные колебания, которые накладываются на регулярный сигнал шумового фона.

В связи с тем, что не всегда имеется возможность измерить вибропараметры конкретного элемента механизма (например, деталей поршневой группы в дизеле), появляется необходимость оценки вибрации по виброактивности другого (например, блока цилиндров), то есть вывести уравнение, связывающее вибрацию одного элемента с другим.

Таким образом, модель технического объекта, процесса или системы – упрощенное их представление, сохраняющее с некоторой точностью те свойства, характеристики и параметры, которые интересуют исследователя.

Модели строятся с целью изучения свойств и характеристик, прогнозирования поведения проектируемых и реальных систем, исследовать которые непосредственно нецелесообразно или невозможно по каким-то причинам.

В обобщенной модели существуют два вида характерных процессов: быстрые – вибрация и флуктуация эксплуатационных показателей и медленные – изменения параметров.

Быстрые процессы определяют качество функционирования модели в рассматриваемый момент времени, а медленные – надежность систем.

Задание 3. На основании изучения теоретических данных (задания 1 и 2) составьте описание технического объекта в соответствии с полученным вариантом на выполнение практической работы № 1. Кратко опишите сущность моделирования технических объектов.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
 2. Цель работы.
 3. Результаты выполнения работы.
 4. Ответы на контрольные вопросы.
- Защитите отчет у преподавателя.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные этапы описания технических объектов.
2. Какие основные типы моделей технических объектов вам известны?
3. С какой целью строятся модели технических объектов?