

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**О**дно из основных требований, предъявляемых сегодня к любому изделию в машиностроении — это технологичность в изготовлении, минимальная стоимость и максимальная надежность в эксплуатации. Основные технические решения, принимаемые на начальной стадии разработки изделия машиностроения, чрезвычайно сильно влияют на возможность своевременного выпуска наукоемкого изделия. Полнота определения технических требований и разумное разбиение создаваемой технической системы на стандартные, типовые и оригинальные компоненты оказывают намного большее воздействие на снижение стоимости единицы изделия и разработку в целом, чем организация эффективного изготовления собственно изделия в производственных условиях [15, 17].

Настоящая книга формировалась как справочно-методическое пособие конструктора общемашиностроительного профиля, которое поможет будущим и начинающим инженерам.

В последнее время в конструкторских коллективах многих машиностроительных предприятий России произошли определенные изменения в возрастном составе, вследствие чего не всегда удавалось сохранить преемственность поколений и поддержание традиционных конструкторско-технологических школ. Кроме того, в последние годы ощущается острый дефицит учебной и учебно-методической литературы по

конструкторско-технологическому направлению. В связи с этим и возникла необходимость создания подобного справочно-методического пособия, которое поможет начинающему конструктору в освоении творческого инженерного труда.

Изложение материала ведется на основе известной учебной, учебно-методической, научно-технической и справочной литературы [3, 4, 12], а также большого опыта практической работы преподавателей кафедр инженерной графики и технологии машиностроения ПИМаш.

Практика показывает, что при создании новых технических систем научноемкого характера «под заказ» новая система обычно строится на основе повторного использования прежних проектных решений (предыдущих аналогов) и содержит не более 10...20% действительно оригинальных технических решений. Повторное использование проектных решений позволяет более эффективно управлять сложностью создаваемых технических систем, применяя при проектировании ранее обработанные функциональные компоненты. Такой подход дает возможность выполнять проекты с меньшим количеством более крупных функциональных узлов и блоков. Вводя нужные уровни абстракции и соответствующую иерархию, исполнитель технической системы получает возможность с помощью имеющихся средств проектирования создавать сложные проекты.

При обучении современных творчески мыслящих инженеров недостаточен объем традиционной информации по курсу машиностроительного черчения, основанной на использовании стандартных изделий (болтов, гаек, шпилек и т. п.). В курсовых работах и проектах уже на первых курсах необходимо показывать и объяснять студентам основы изображения и принципы не только традиционного, но и рационального конструирования типовых изделий машиностроения, рассматривать проектирование как обучение.

Пособие представляет в сжатом виде удобный для использования справочный материал по теме, предложенный различными конструкторами и учеными, в том числе широко используется классическая работа П. И. Орлова [11]. Учтены современные правила оформления чертежей с учетом изменений, внесенных в государственные стандарты. Рассмотренные в работе решения переводятся в компьютерную базу знаний и данных.

В последней главе даны краткие основы формообразования и композиции в технике, связанные с необходимостью повышения качества и эстетичности промышленных изделий, так как в технике красота неотделима от пользы.

Конструирование машин — творческий процесс со свойственными ему закономерностями построения и развития. Основные особенности этого процесса состоят в многовариантности решения, необходимости согласования принимаемых решений с общими и специфическими требованиями, предъявляемыми к конструкциям, а также с требованиями соответствующих ГОСТов, регламентирующих термины, определения, условные обозначения, систему измерений, методы расчета и т. п. [1, 12].

Детали, узлы, машины изготавливают по чертежам, выполненным на основе проектов — совокупности расчетов, графических материалов и пояснений к ним, предназначенных для обоснования и определения параметров конструкции (кинематических, динамических, геометрических и др.), ее производительности, экономической эффективности. Для особо ответственных конструкций проект дополняют макетом или действующей моделью.

Стадии разработки конструкторской документации и этапы работ установлены ГОСТ 2.103-68, в котором обобщен опыт, накопленный в передовых странах по проектированию машин, приборов и аппаратов.

■ **Разработка технического задания (ТЗ)** — документа, содержащего наименование, основное назначение, технические требования, показатели качества, экономические показатели и специальные требования

заказчика к изделию. ТЗ учитывает требования заказчика, а также достижения и технический уровень отечественных и зарубежных конструкций, патентный поиск, результаты научно-исследовательских работ и научного прогноза.

- **Разработка технического предложения** — совокупности конструкторских документов, обосновывающих техническую и технико-экономическую целесообразность разработки изделия на основе предложений в техническом задании, рассмотрения вариантов возможных решений с учетом достижений науки и техники в стране и за рубежом, патентных материалов, возможностей машиностроительных заводов отрасли и смежных отраслей. Техническое предложение утверждается заказчиком и генеральным подрядчиком.
- **Разработка эскизного проекта** — совокупности конструкторских документов, содержащих принципиальные конструкторские решения и разработки общих видов чертежей, дающих представление об устройстве разрабатываемого изделия, принципе его действия, габаритах и основных параметрах. Сюда входит пояснительная записка с необходимыми расчетами.
- **Разработка технического проекта** — совокупности конструкторских документов, содержащих окончательное решение и дающих полное представление об устройстве изделия. Чертежи проекта состоят из общих видов и сборочных чертежей узлов, полученных с учетом достижений науки и техники на уровне работы узлов. На этой стадии рассматриваются вопросы надежности узлов, соответствие требованиям техники безопасности, условиям хранения и транспортирования и т. д.
- **Разработка рабочей документации** — совокупности документов, содержащих чертежи общих видов, узлов и деталей, оформленных так, чтобы по ним можно было изготавливать изделия и контролировать их производство и эксплуатацию [5, 10, 16]. На этой стадии разрабатываются конструкции деталей, оптимальные по показателям надежности, технологичности и экономичности.

Широкое использование персональных компьютеров на всех стадиях проектирования необходимо, чтобы избавить конструктора от выполнения трудоемких расчетов, многофакторного анализа и большого объема графических работ.

# 2

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДЕТАЛЯХ И УЗЛАХ МАШИН И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

**М**ашины, механизмы, приборы, аппараты, приспособления, инструменты и другие изделия основного и вспомогательного производства машиностроительных предприятий изготавливают из деталей.

*Деталью* принято называть элемент конструкции, изготовленный из материала одной марки без применения сборочных операций (например, болт, гайка, вал и т. д.).

Совокупность деталей, соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями (завинчиванием, сваркой и т. д.) и предназначенных для совместной работы, называют *сборочной единицей (узлом)*. Простейший узел является составной частью более сложного, который, в свою очередь, оказывается узлом изделия, комплекса и т. п.

Характерными примерами узлов являются, по мере нарастания сложности, подшипник, узел опоры, редуктор и т. п.

Изготовление конструкций и узлов из деталей позволяет использовать различные материалы, облегчает их изготовление, эксплуатацию и ремонт, обеспечивает возможность их нормализации и стандартизации, изготовления на специализированных заводах и т. д.

В каждой машине число деталей исчисляется сотнями, тысячами, а в крупных, например в самолете, — миллионами. Несмотря на различное конструктивное оформление и назначение машин, детали и узлы в них

в основном одинаковые (типовые, нормальные и стандартные). К их числу относятся различные соединения (резьбовые, сварные, шлицевые и др.), передачи (зубчатые, винтовые, гибкой связью и др.) и их детали, валы, муфты и опоры, уплотнения и устройства для смазывания, пружины и др. В связи с этим в промышленно развитых странах признано целесообразным сконцентрировать вопросы расчета, проектирования и конструирования деталей и узлов общемашиностроительного применения в разделе науки «Машиноведение и детали машин», а их изучение сосредоточить на этапе общеинженерной подготовки в курсах «Детали машин» и «Прикладная механика» в нашей стране, «Элементы машин» и «Основы проектирования машин» за рубежом.

*Детали и узлы машин, как и машины в целом, должны удовлетворять следующим основным требованиям.*

**Работоспособность.** Это состояние деталей, при котором они способны нормально выполнять заданные функции с параметрами, установленными нормативно-технической документацией (техническими условиями, стандартами и т. п.).

**Надежность.** Под ней понимают свойство изделия (детали, узла, машины) выполнять функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение заданного промежутка времени или требуемой наработки. Термины и определения по надежности указаны в ГОСТ 13377-75.

Надежность является общей проблемой для всех отраслей машиностроения и приборостроения. Любая современная машина или прибор, какими бы высокими характеристиками они ни обладали, будут обесценены при ненадежной работе. Надежность изделия зависит от необходимой наработки, которая может исчисляться в часах работы станка, налета самолета, в километрах пробега автомобиля, гектарах обработанной земли для сельскохозяйственной машины и т. д.

Надежность обусловлена всеми этапами создания и эксплуатации изделий. Ошибки проектирования, погрешности в производстве, упаковке, транспортировке и эксплуатации изделия также сказываются на ней.

Отметим, что отказы деталей машин в основном являются не восстанавливаемыми и связаны, как показала практика, с разрушениями (статическими, малоцикловыми и усталостными), изнашиванием и недостаточной жесткостью. Поэтому задачи обеспечения прочности, жесткости и износостойкости деталей машин являются основными в проблеме их надежности.

*Работоспособность и надежность деталей машин оцениваются определенными условиями и показателями — критериями. Важнейшими из них являются: прочность, жесткость, износостойкость, виброустойчивость и др.*

При расчете и проектировании деталей обычно используют один или два критерия, а остальные заложены изначально или не имеют практического значения для рассматриваемых деталей.

**Технологичность.** Технологичными называют детали и узлы, требующие минимальных затрат средств, времени и труда в производстве, эксплуатации и ремонте.

Технологичность деталей обеспечивается:

- очерчиванием их простейшими поверхностями (цилиндрическими, коническими и др.), удобными для обработки механическими и физическими методами;
- применением материалов, пригодных для безотходной обработки (давлением, литьем, прессованием, сваркой, лазером и т. п.) и ресурсосберегающей технологии;
- системой допусков и посадок и другими средствами и методами.

Детали и узлы машин должны быть конструктивно гибкими, т. е. приспособленными к гибкому автоматизированному производству (ГАП). Для этого их конструкции должны обладать также преемственностью и высоким уровнем стандартизации и унификации конструкционных элементов, материалов, расчетов и технологий, возможностью «срачивания» систем автоматизированного проектирования и производства.

**Экономичность.** При оценке экономичности учитывают затраты на проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт. Она достигается оптимизацией формы и размеров деталей и узлов из условия минимума материоемкости, энергоемкости и трудоемкости производства, за счет максимального коэффициента полезного действия в эксплуатации при высокой надежности; высокой специализацией производства и т. д.

**Эстетичность.** Совершенство и красота внешних форм деталей, узлов и машины в целом существенно влияют на отношение к ней со стороны обслуживающего персонала. Красивый внешний вид деталям, узлам и машине придают форма и внешняя отделка конструкции (декоративная полировка, окраска, нанесение гальванических покрытий и окисных пленок и пр.).

Системное проектирование объекта — это творческая деятельность, которая комплексно решает экономические и социально-технические задачи. В отличие от частного проектирования, в котором разработка различных технических систем ведется независимо друг от друга, в системном учитывается взаимодействие отдельных систем, социально-экологические последствия их функционирования.

Процессы как системного проектирования, так и частного осуществляются на основе применения научных принципов, технической информации и воображения с учетом условий и ограничений производства и функционирования разрабатываемой технической системы.

Проектирование делится на расчетные этапы, экспериментальные исследования и конструирование — процесс создания образа объекта проектирования (ОП), которому свойственна работа с моделями и макетами объектов или их графическими моделями. Эти модели, объекты, представляющие собой материальные объекты, называются **конструкциями**.

В процессе конструирования прорабатывается образ конструкции: устанавливается взаимное расположение частей и их элементов, состав, проверяется возможность совместной работы элементов и обеспечение выполнения заданных функций. Формируется эстетический образ объекта (машины) и т. п.

Методы проектирования подразумевают использование моделей. Их построение способствует отображению и воспроизведению действительных объектов и процессов. Моделирование всегда предполагает принятие допущений той или иной степени важности. Модели должны обладать следующими качествами: адекватностью внешних связей и параметров; точностью учета наиболее существенных внутренних связей и параметров; универсальностью; экономичностью.

### 3.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Выделяют следующие типы моделей: эвристические, математические, физические, графические.

**Эвристические** модели представляют собой образы, которые человек создает в своем воображении. Их описание ведется словами естественного языка и не всегда однозначно. Эти образы не формализуются, но основаны на представлении реальных процессов и явлений.

**Математические (аналитические)** модели создаваемых объектов строго однозначно описывают языком математических и формально-логических выражений.

**Физические** модели материальны, отличаются от реального объекта или его части геометрическими размерами элементов и служат для изучения явления или процесса. Выбор размеров модели ведется с соблюдением теории подобия. К физическим моделям относятся экспериментальные и натуральные модели.

**Графические** модели лежат между эвристическими и математическими моделями. Это различные изображения, схемы, графики, чертежи. Эскизы, схематическому представлению некоторого объекта, присущи эвристические черты, в расчетной схеме отражены внутренние и внешние связи объекта, а изображение иерархической структуры объекта в виде графов адекватно математической модели.

**Аналоговые** модели находятся между физическими и математическими моделями, которые на основе физических моделей явлений отображают математические процессы.

Реальные объекты и физические модели используются в экспериментальных методах. В процессе проектирования, используя функциональные и параметрические модели, выбирается принцип действия, уточняются структура и параметры.

По возрастанию степени соответствия реальному объекту модели можно расположить следующим образом: образные (эвристи-

ческие, функционально-физические) — графические — математические — физические (экспериментальные).

Среди формализуемых методов используются математические методы оптимального проектирования, которые из ряда вариантов решений позволяют выбрать лучший, оптимальный. Наиболее разработаны методы параметрической оптимизации, т. е. поиска оптимальных параметров в рамках заданной структуры и принципа действия.

Проектирование связывает науку с производством. Использование персональных компьютеров в проектировании обеспечивает глубокий и быстрый анализ вариантов проектируемых устройств и происходящих в них процессов на математических моделях; использование моделирования на микро- и макроуровнях, многовариантный анализ структур проектируемых конструкций, накопление и хранение решений для создания и накопления банков данных. ПК используется для системного представления об используемом или проектируемом объекте, а также с целью применения полученной в результате проектных процедур информации для управления технологическими процессами в производстве проектируемых изделий.

### **3.2. ТИПЫ МОДЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Чертеж детали — двумерное геометрическое моделирование.

1. Твердотельное моделирование.

2. Проволочная модель, состоящая из точек, ребер, отрезков прямых и кривых линий.

3. Объемная геометрическая модель — создание детали из объемных примитивов.

4. Поверхностная (границная) модель — склейка очерков поверхностей, окаймляющих деталь в виде замкнутой поверхности.

5. Кинематическая модель — тело вращения или призматическое, формируемое движением образующих (прямолинейных, криволинейных, плоских).

6. Каркасная модель, формируемая из набора плоских попечных сечений, перпендикулярных к пространственной криволинейной оси и покрываемых их поверхностью (плазирование).

7. Параметрическая модель — типовая деталь или синтез детали с таблицей.

8. Гибридная модель, состоящая из параметрических моделей и моделей с заданными размерами.

**Н**а основе выбранного принципа действия и функциональной схемы создают различные варианты структур опытного образца.

Поиск новых структур — творческая деятельность инженера. Чем больше исследуется различных структур, тем рациональнее и обоснованнее будет окончательное решение.

Итогом проектирования является проект — комплекс технической документации. Он отражает состав и устройство изделия и содержит необходимые данные для его разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта, утилизации. Вся документация подразделяется на текстовую и графическую.

В состав **текстовой** документации (ГОСТ 2.106-68) входят:

- пояснительная записка. Она содержит описание устройства и принципа действия объекта проектирования (ОП), обоснование принятых технических и экономических решений. Включает введение, назначение, область применения ОП, механическую характеристику, обоснование выбора решения, расчеты, ожидаемые технико-экономические показатели;
- расчеты, технические условия, спецификация, которая определяет состав изделия и включает документацию, комплексы, сборочные единицы, детали, сборочные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты;

- программа и методика испытаний;
  - эксплуатационные, ремонтные документы.
- В состав **графической документации** (ГОСТ 2.109-68) входят:
- **чертеж детали**;
  - **сборочный чертеж** содержит изображение сборочной единицы и данные для ее сборки и контроля (габаритные размеры, посадки отклонения, ТУ и пр.);
  - **чертеж общего вида** определяет конструкцию изделия и взаимодействие составных частей, принцип работы изделия;
  - **теоретический чертеж** определяет геометрическую форму изделия и координаты основных частей;
  - **габаритный чертеж** содержит упрощенное контурное изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;
  - **монтажный чертеж** содержит упрощенное изображение изделия с необходимыми для монтажа на месте применения данными;
  - **схема** условно показывает составные части изделия и связи между ними.

В зависимости от стадии разработки документы делятся на проектные (техническое приложение, эскизный и технический проекты) и рабочие (рабочая документация на детали, сборочные единицы, комплекты и комплексы).

При конструировании (проектировании) нового изделия машины необходимо учитывать **экономический эффект**, который зависит от величины полезной отдачи и долговечности машины. Большое значение имеет **надежность**, определяющая объем и стоимость ремонта, производимого за время эксплуатации машин.

Повышение надежности возможно за счет прочности и жесткости конструкции. Большой экономический эффект дают унификация и нормализация деталей, узлов и агрегатов.

**Долговечность** определяется изнашиванием деталей. Постепенно развивающийся износ ведет к ухудшению показателей машины, снижению точности выполняемых операций, падению КПД, увеличению энергопотребления и снижению полезной отдачи, а также может привести к поломке и аварии (разрушение подшипников качения, выкрашивание зубьев зубчатых колес и т. п.).

Главными способами **повышения износостойкости** при механическом износе являются увеличение твердости трущихся поверхностей, подбор материалов трущихся пар, уменьшение давления на поверхностях трения, повышение качества поверхностей

и правильно выбранная смазка. Современная технология располагает эффективными средствами повышения поверхностной твердости: цементация и обработка т. в. ч. (HV 500–600), азотирование (HV 800–1200), диффузионное хромирование (HV 1200–1400), плазменное наплавление твердыми сплавами (HV 1400–1600) или тугоплавкими материалами и пр.

Другое направление заключается в улучшении антифрикционных свойств поверхностей осаждением фосфатных пленок (февропитование), насыщение поверхностного слоя серой (сульфирирование), графитом (графитирование), применение наноматериалов и др. Эти способы увеличивают износостойкость стальных деталей в 10...20 раз.

Эффективным методом увеличения износостойкости является уменьшение величины давления в трущихся соединениях. Наиболее простой способ заключается в увеличении площади поверхности трения. Во всех случаях, когда допускает конструкция, необходимо заменять точечный контакт линейным, линейный — поверхностным, трение скольжения — трением качения.

Для увеличения безремонтной эксплуатации следует комплектовать машину сменными узлами и избегать трущихся поверхностей непосредственно на корпусах деталей. Для облегчения ремонта поверхности трения необходимо предусматривать на отдельных, легко заменяемых деталях (например, втулках). Кроме того, необходимо:

- добиваться повышения производительности проектируемого механизма или машины, снижения расходов на ее эксплуатацию, уменьшения энергопотребления, стоимости ремонта и обслуживания;
- закладывать в машины предпосылки интенсификации использования в эксплуатации путем повышения их универсальности и надежности;
- предусматривать возможность создания производных машин с максимальным использованием конструктивных элементов базовой машины;
- стремиться к сокращению числа типоразмеров машин путем рационального выбора их параметров, добиваться минимального числа их модулей;
- выдерживать принцип агрегатности — конструировать узлы в виде независимых агрегатов, устанавливаемых на машину в собранном виде;
- осуществлять максимальную унификацию элементов конструкции с целью удешевления машины, сокращения сроков ее изготовления, а также с целью облегчения эксплуатации и ремонта;

Конец ознакомительного фрагмента.

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