

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Все, что создано и создается людьми, проходит стадию проектирования и конструирования. Специалистов, занимающихся этим видом деятельности в области техники, принято называть конструкторами.

Подготовка и работа конструктора-приборостроителя очень сложна, так как, кроме творческих способностей, он должен обладать широкой и глубокой подготовкой в различных областях науки и техники. Ему нужны не только те знания, которые излагаются в «конструкторских» дисциплинах (или разделах дисциплин), таких как «Машиностроительное черчение», «Допуски и посадки», «Сопротивление материалов», «Теория машин и механизмов», «Теоретическая механика», «Детали приборов», «Основы конструирования», а также в дисциплинах «общеинженерной» подготовки: «Материаловедение», «Технология приборостроения», «Электротехника и электроника», «Информатика и вычислительная техника», «Метрология, стандартизация и сертификация».

Для создания тех или иных видов точных приборов в не меньшей степени необходимы знания, содержащиеся в циклах математических и естественнонаучных дисциплин и дисциплинах специальности, дающие теоретические (физические) основы работы таких приборов, принципы их построения и расчетов, технологию производства, методы контроля, испытаний, специфику эксплуатации.

Например, конструирование современных оптических приборов невозможно без знаний и умений, которые дают конструктору такие дисциплины, как «Прикладная оптика», «Теория оптико-электронных приборов», «Оптическая технология и материалы», «Оптические измерения», «Сборка, юстировка и контроль оптических приборов», «Источники и приемники оптического излучения», «Привода и датчики приборов».

Естественно, что конструктор должен владеть также пакетами прикладных компьютерных программ для моделирования, расчетов и выпуска конструкторской документации проектируемой техники (например, пакеты Mathcad, MATLAB, КОМПАС, AutoCAD, PRO-Engineer, SOLIDWORKS, ZEMAX, SARO, ОПАЛ).

Можно утверждать, что по сравнению с другими видами профессиональной деятельности и специалистами конструктор должен обладать наиболее широким профилем подготовки. Особенно хорошо он должен знать конструкционные материалы, современные технологии изготовления деталей и их сборки, методы юстировки (регулировки, настройки) узлов и приборов, а также вопросы метрологического контроля изделий.

В связи с этим в учебном пособии наряду с методами, правилами и принципами конструирования точных приборов и типовых элементов излагаются вопросы рационального выбора материалов, технологичности, юстировки, контроля и обеспечения целевых показателей качества проектируемых изделий.

Первое издание учебного пособия, вышедшее в 2007 г., вызвало значительный интерес специалистов, преподавателей и студентов, работающих и обучающихся в области точного приборостроения. Во второе издание внесены дополнения, учитывающие новые достижения в приборостроении, исправлены многочисленные опечатки, имеющиеся в первом издании, а также учтены некоторые замечания и пожелания, высказанные автору по предыдущей публикации.

Автор выражает благодарность студенту кафедры компьютерной фотографии и видеинформатики НИУ ИТМО П. А. Белойвану за помощь в оформлении рисунков, а также будет признателен всем, кто выскажет замечания и пожелания по второму изданию учебного пособия.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Процесс создания новой техники, базируясь на результатах фундаментальных и прикладных исследований, содержит особый этап умственной деятельности, заключающийся в разработке технического проекта будущего изделия.

Задачами этого этапа являются:

- выявление потребности общества в том или ином техническом изделии (с учетом технико-экономических характеристик, расходов природных ресурсов, влияния на экологию и т. п.);
- поиск идей и способов инженерных решений;
- разработка конкретной конструкции изделий с выпуском необходимой технической документации.

Данную работу называют проектированием и (или) конструированием изделия.

Проектирование и конструирование взаимосвязаны, дополняют друг друга, выполняются, как правило, специалистами одной профессии — инженерами-конструкторами, имеют одну и ту же конечную цель — разработку нового изделия, и поэтому часто весь процесс называют проектированием [1.1, 1.2] или конструированием [1.3].

Однако на практике и в литературе [1.4–1.6] существует и другая точка зрения, согласно которой эти понятия различают. Считают, что *проектирование* предшествует конструированию и заключается в выявлении потребности общества в изделии, в поиске идей, физических эффектов, целесообразных методов и принципов действия, в синтезе функциональных структур возможных вариантов.

Под *конструированием* понимают разработку конкретного варианта изделия на основе результатов проектирования, при которой создается его конструкция: устройство, состав, взаимное расположение частей и элементов, способ их соединения и взаимодействия с учетом используемых материалов, технологий изготовления и т. п.

В процессе конструирования выпускают чертежи сборочных единиц и деталей, схемы, рассчитывают допуски на погрешности, определяют технологию изготовления и сборки деталей, устанавливают технические условия на прибор, составляют техническое описание, разрабатывают другую конструкторскую документацию, необходимую для изготовления и эксплуатации изделия.

Существуют два мнения о взаимоподчиненности понятий «проектирование» и «конструирование». Согласно одному из них проектирование — итерационный процесс преобразования информации с целью получения технических систем, удовлетворяющих определенным человеческим потребностям, а конструирование — часть процесса проектирования, заключающаяся в преобразовании информации с целью получения графических моделей технических систем.

Согласно другому мнению [1.7] конструирование включает в себя проектирование (а не наоборот, как в первом случае), так как под конструированием понимается построение, создание технического объекта, а под проектированием — только разработка его замысла, поиск идей, предвидение и т. п.

Следует заметить, что, несмотря на существующие различия понятий «проектирование» и «конструирование», невозможно найти четкую границу между этими процедурами проектно-конструкторской деятельности. Как на этапе проектной работы существуют элементы конструирования (например, разработка макетов для проверки физических принципов действия, выбор и расчет некоторых звеньев системы), так и на этапе конструирования не обойтись без проектных процедур (поиск вариантов используемых функциональных устройств, конструкций, разработка и уточнение схем, теоретическое и экспериментальное исследование характеристик некоторых инженерных решений).

Данное учебное пособие посвящено основам конструирования точных приборов, типичными представителями которых в настоящее время являются оптические приборы, содержащие механические, электронные и оптические функциональные устройства и элементы.

Специфика конструирования таких приборов заключается в том, что их показатели качества и в первую очередь точность, надежность и технологичность в существенной степени зависят от выполнения определенных правил и принципов конструирования, способов и методов функционального, параметрического и точностного синтеза конструкций, знания путей повышения качества приборов при проектировании.

Несмотря на то что рассматриваемые вопросы иллюстрируются преимущественно на конструкциях оптических приборов, они в полной мере относятся и к конструированию других видов точных приборов и машин.

В настоящее время известно достаточно много публикаций по проектно-конструкторской деятельности. Вместе с тем следует отметить, что по прикладным вопросам конструкторской работы в области оптического приборостроения литературы немного. Наиболее доступными являются справочник конструктора оптико-механических приборов [1.8], учебники и учебные пособия по конструированию оптических и оптико-электронных приборов [1.6, 1.9, 1.10].

Рассмотреть все теоретические и практические аспекты конструирования оптических приборов в одной книге, естественно, невозможно, даже учитывая то, что студенты и другие читатели уже знакомы с такими необходимыми основами и разделами конструирования приборов и машин, как «Допуски и посадки», «Сопротивление материалов», «Детали приборов», «Материаловедение и технология конструкционных материалов», «Теория машин и механизмов», «Теоретическая механика», «Оптическая технология», «Прикладная оптика» и др. Поэтому автор, опираясь на материал, который изложен в вышеперечисленных учебниках и учебных пособиях, старался развить и дополнить его рассмотрением тех вопросов конструирования, которые преимущественно связаны с показателями точности приборов и их элементов.

Учебное пособие состоит из четырех частей. В первой части рассматриваются общие вопросы и принципы конструирования точных приборов и их элементов. Вторая часть посвящена синтезу и анализу точности приборов, понятиям и способам достижения их надежности. В третьей части изучаются методы повышения и обеспечения качества приборов при конструировании. Практические аспекты конструирования элементов оптических приборов отражены в четвертой части.

Пособие написано на базе учебной дисциплины, читаемой автором студентам оптических специальностей Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), поставленной в вузе более 50 лет назад известными конструкторами точных механизмов и приборов С. Т. Цуккерманом и В. В. Кулагиным, книги которых [1.9, 1.11] содержали теоретические и практические основы конструкторской подготовки студентов в области точного приборостроения в прошлые годы.

Автор выражает признательность и благодарность доцентам кафедры компьютеризации и проектирования оптических приборов ИТМО И. Н. Тимошук и Г. В. Егорову за предоставление некоторых материалов и помошь при подготовке рукописи.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПРИНЦИПЫ
КОНСТРУИРОВАНИЯ
ТОЧНЫХ ПРИБОРОВ
И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ВВЕДЕНИЕ

Существует огромное количество различных видов и типов точных приборов. Например, только оптические приборы классифицируются на геодезические, спектральные, измерительные, военные, космические, фото- и видеотехнические, контрольно-юстировочные, телекоммуникационные, медицинские и т. д.

Номенклатура подобных приборов достигает нескольких тысяч наименований. Нескольких десятков тысяч наименований достигает номенклатура выпускаемых промышленностью функциональных устройств и элементов, используемых в точном приборостроении.

Конструктор, проектируя эту технику, конечно, должен учитывать специфику конкретного объекта конструирования.

Однако процесс обучения и подготовки специалистов по проектно-конструкторской деятельности не может и не должен носить рецептурный характер и основываться на изучении специфики создания того или иного конкретного изделия или даже класса изделий. Поэтому подготовка конструкторов, например, только по геодезическим приборам или по микроскопии, или по гироскопической технике представляется неоправданной.

Следует изучать методы, общие правила и принципы проектирования и конструирования, которые используются при создании как всех технических изделий, так и их различных видов и классов, объединенных некоторыми общими целевыми признаками. Это позволит осуществлять подготовку конструкторов широкого профиля, в дальнейшем способных освоить специфику проектирования конкретных типов изделий «на рабочем месте».

Методы проектирования и конструирования описывают возможные пути и способы поиска идей и инженерных решений проектно-конструкторских задач (которые, как правило, не зависят от вида создаваемой техники).

Под общими правилами конструирования понимают рекомендации по решению тех или иных проектно-конструкторских задач для обеспечения требований, предъявляемых как ко всем техническим изделиям (например,

их унификации, утилизации), так и по решению ряда задач, определяемых видом создаваемой техники (например, ее компоновки, структуры).

Принципами конструирования являются такие правила и конструктивные решения, которые позволяют достичь требуемых целевых функций изделия (основных показателей качества изделия).

Для всех точных приборов такими показателями качества являются показатели *точности, надежности и технологичности*, поэтому в данном разделе учебного пособия преимущественно излагаются принципы конструирования, влияющие на эти показатели. Методам и общим правилам проектирования и конструирования уделяется меньшее внимание, так они излагаются в многочисленной литературе по проектированию приборов и основам технического творчества [1.1–1.4, 1.12–1.15].

ГЛАВА 1 ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

1.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Согласно ГОСТ 2.103-68 этапы проектно-конструкторской работы и стадии разработки конструкторской документации выполняются в последовательности, показанной на рисунке 1.1.

Рассмотрим вкратце содержание этапов и совокупность разрабатываемой конструкторской документации (КД) применительно к оптическим приборам (ОП).

Техническое задание (ТЗ) — документ, с которого начинается разработка любого ОП, устанавливающий его основное назначение, область применения, технические и технико-экономические показатели качества, состав, условия и режимы эксплуатации, этапы и сроки выполнения работ.

ТЗ составляется организацией-заказчиком при возможном участии и согласовании с организацией-исполнителем. Основные требования к ТЗ изложены в ГОСТ 15.001-73.

Техническое предложение — совокупность КД, разрабатываемой с целью выявления возможных вариантов технических решений и уточнения ТЗ, которая содержит технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации ОП на основе анализа ТЗ и различных вариантов возможных решений; сравнительную оценку решений

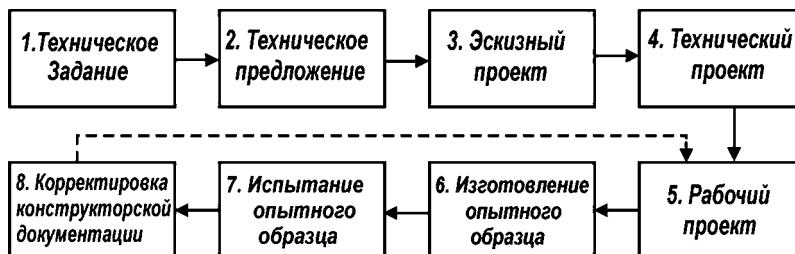


Рис. 1.1
Этапы проектно-конструкторской работы

с учетом конструкторских и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и аналогичных существующих ОП, а также тенденций и перспектив их развития; результаты проверки вариантов на патентоспособность, патентную чистоту и конкурентоспособность; предварительную оценку технологичности вариантов конструкции, соответствие их требованиям стандартизации, унификации, техники безопасности и т. п.

На этом этапе выполняются расчеты, подтверждающие работоспособность того или иного решения. Некоторые решения проверяются путем экспериментальных исследований на макетах.

Выпускаемая на этом этапе КД содержит функциональные схемы возможных вариантов решений ОП, упрощенные чертежи общего вида, ведомость технического предложения, патентный формуляр, пояснительную записку.

Объем работ по этому этапу отражен в ГОСТ 2.118-73.

Эскизный проект — совокупность КД, разрабатываемой с целью получения принципиальных конструктивных решений выбранного варианта ОП. Он дает общее представление о принципе работы и устройстве прибора, его основных характеристиках. На этом этапе выполняются все необходимые расчеты ОП: параметрический, оптический, светотехнический, точностной и др.

Выпускаемая КД содержит: основные схемы ОП (оптическую, кинематическую, электрическую), чертежи общего вида (с возможными упрощениями) и наиболее важных сборочных единиц, дающие представление о компоновке прибора и взаимодействии его частей; пояснительную записку с результатами расчетов, сведениями о технико-экономических характеристиках ОП, дополнительными результатами патентных исследований и т. д.

Объем работ этого этапа отражен в ГОСТ 2.119-73.

Технический проект — совокупность КД, которая содержит окончательное техническое решение, дающее полное представление о конструкции ОП. На этом этапе производится более подробная разработка конструкции всего прибора и его составных частей; разрабатываются принципиальные схемы, схемы соединений; составляется номенклатура покупных изделий; согласуются габаритные, установочные и присоединительные размеры; производится анализ технологичности, определяется технологическое оборудование, разрабатывается необходимая оснастка; принимаются решения о выборе средств контроля, монтаже, хранении и транспортировке ОП.

Выпускаемая КД: чертежи общего вида и сборочных единиц, габаритный чертеж, чертежи всех схем, ведомость покупных изделий, патентный формуляр, пояснительная записка и др.

Объем работ этого этапа в ГОСТ 2.120-73.

Рабочий проект — полный комплект КД, достаточный для изготовления и эксплуатации ОП. На этом этапе выполняют чертежи всех деталей конструкции прибора; разрабатывают требования и методику его сборки, юстировки и испытания; составляют техническое описание и инструкцию по эксплуатации прибора, его формуляр и технический паспорт (в нем содержатся сведения о характеристиках ОП, результаты его испытания, состав комплекта, гарантии и т. п.); на сложные и ответственные детали разраба-

тывают технологические процессы их изготовления, составляют технические условия, содержащие требования, отсутствующие в чертежах, но необходимые для изготовления и отладки ОП; составляют ведомости покупных изделий, марок и сортаментов материалов, запасных инструментов, принадлежностей и т. п.

В ответственных случаях, для выявления возможных ошибок в рабочих чертежах деталей, производят так называемые контрольные сборки — сборочные чертежи всего прибора или его основных узлов, выполненные по конкретным размерам, считанным с рабочих чертежей сопрягаемых деталей.

После подготовки и утверждения КД переходят к этапу **изготовления и испытания** проектируемого прибора. В случае когда планируется не единичное, а его серийное производство, изготавливается опытный образец или опытная партия приборов. Всесторонние испытания изготовленных образцов позволяют сделать заключение о соответствии прибора ТЗ, выявить возможные недостатки проекта и устранить их путем корректировки или доработки КД.

Следует заметить, что не все из перечисленных этапов обязательны к выполнению как самостоятельные, например может быть исключен эскизный проект, объединены технический и рабочий проекты.

Более подробно перечень работ, выполняемый на различных этапах конструирования, изложен в соответствующих ГОСТах и в работе [1.6].

1.1.1. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА, ОБЕСПЕЧИВАЕМЫЕ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

На всех этапах конструирования ОП конструктор должен находить технические решения, обеспечивающие соответствие создаваемого прибора требованиям не только ТЗ, но и требованиям, не отраженным в ТЗ, но выполнение которых необходимо в любом техническом проекте. Речь идет о требованиях, обеспечивающих создание качественного прибора или любого другого объекта проектирования.

В соответствии с ГОСТ 22851-77, ГОСТ 15467-79 *качеством прибора (продукции) называется совокупность свойств прибора, обуславливающих его пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с его назначением*. Для объективной оценки качества прибора его свойства характеризуют количественно — показателями качества.

Показатели качества характеризуют технико-экономические особенности прибора и классифицируются по следующим основным группам (табл. 1.1).

1. Показатели назначения — характеризуют назначение, область применения, производительность, точность, светосилу, разрешающую способность, дальность действия, габариты, массу и т. п.

Это наиболее многочисленная группа показателей качества изделий. Для ОП существуют как общие показатели назначения (показатели точности функционирования, качества изображения, создаваемого оптическими системами), так и частные (показатели, характеризующие параллельность визирных осей бинокулярных приборов, увеличение микроскопов, светосилу фотографических, мощность излучения лазерных приборов и т. д.).

Показатели качества, обеспечивающие при конструировании точных приборов

Наименование групп показателей	Характеристики прибора
Показатели назначения	Точность функционирования, разрешающая способность, производительность, масса, светосила
Показатели надежности	Безотказность, ремонтопригодность, долговечность, сохраняемость
Показатели технологичности	Оптимальность условиям современного производства
Эргономические показатели	Приспособленность к взаимодействию с человеком
Эстетические показатели	Соответствие современному стилю, гармонии, «красоте»
Показатели стандартизации и унификации	Использование стандартных, унифицированных, заимствованных конструкций и элементов
Патентно-правовые показатели	Новизна технических решений
Экономические показатели	Затраты на проектирование, производство и эксплуатацию
Показатели безопасности	Защищенность людей и животных, защищенность прибора
Экологические показатели	Воздействие на окружающую среду

2. Показатели надежности — характеризуют *безотказность* (свойство прибора сохранять работоспособность в течение некоторого промежутка времени или наработки без вынужденных перерывов), *долговечность* (свойство прибора к длительной эксплуатации с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов), *ремонтопригодность* (приспособленность прибора к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем технического обслуживания и ремонтов) и *сохраняемость* (свойство прибора сохранять обусловленные показатели в течение и после срока хранения и транспортировки).

3. Показатели технологичности — характеризуют степень соответствия прибора и его элементов оптимальным условиям современного производства. Важнейшими технологическими показателями качества прибора является, например, *коэффициент сборности (блочности)*, *коэффициент использования рациональных материалов, удельная трудоемкость*.

4. Эргономические показатели — характеризуют степень приспособленности прибора к взаимодействию с человеком с позиции удобства работы, гигиены, безопасности труда. Эргономические показатели разделены на *гигиенические* (уровень шума, амплитуда и частота вибраций, уровень радиации, температура, степень загазованности, токсичности и т. п.), *антропометрические* (размеры и расположение экранов, индикаторов, рукояток, наглазников, налобников, форма сидений и т. п.), *психофизиологические* (диапазоны усилий на рукоятках, скорости выполнения движений, уровень освещенности, цвет и яркость световых сигналов, тембр и сила звуковых сигналов и т. д.), *психологические* (объем и интенсивность потока информации, количество и частота выполняемых операций, количество и расположение контрольных, сигнальных, управляемых элементов и т. д.).

5. Эстетические показатели — характеризуют внешний вид прибора, его соответствие современному стилю, гармоничность сочетания отдельных элементов прибора друг с другом, соответствие формы прибора его назначению, качество и совершенство отделки внешних элементов, поверхностей и упаковки, выразительность и качество надписей, знаков, технической документации (проспекта, каталога, инструкции, паспорта).

6. Показатели стандартизации и унификации — характеризуют степень использования и применения в данном приборе стандартизованных, унифицированных и заимствованных узлов и деталей. Чем больше таких элементов будет в проектируемом приборе, тем меньше затраты на их конструирование, технологическую подготовку производства, выше, как правило, надежность функционирования, проще организовать обслуживание и ремонт.

7. Патентно-правовые показатели — характеризуют степень новизны технических решений в приборе и определяются *патентоспособностью и патентной чистотой*. Патентоспособным является решение, которое может быть признано изобретением в одной или нескольких странах. Патентной чистотой обладают решения, не попадающие под действие (не нарушающие) других патентов.

8. Экономические показатели — характеризуют уровень затрат на проектирование, производство и эксплуатацию ОП. Среди них выделяют *полную себестоимость и оптовую цену прибора*.

9. Показатели безопасности — характеризуют степень защищенности людей и животных от опасного воздействия приборов (защита от электрического удара, электромагнитных полей, теплового воздействия, радиации, оптических излучений, шума, токсичных и газовых выделений, вибраций и т. д.), а также самих приборов от климатических, механических, биологических и других воздействий на них. Такими показателями, например, являются *категории и классы исполнений и эксплуатации*.

10. Экологические показатели — характеризуют степень вредного влияния на окружающую среду и ее загрязнение при изготовлении, эксплуатации и утилизации приборов.

Следует обратить внимание на то, что именно *при проектировании и конструировании ОП* (а не при его изготовлении, эксплуатации) закладываются потенциальные возможности будущего прибора, возникает возможность наиболее эффективно повысить все показатели его качества по сравнению с существующими техническими решениями (прототипом). Например, потребительская стоимость приборов, экономичность их производства и эксплуатации, как показали исследования [1.3], на 75% определяются в ходе конструкторской подготовки производства.

1.1.2. СТРУКТУРА ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРА

Оптический прибор предназначен для преобразования информации от объекта наблюдения (обнаружения), измерения или управления. На рисунке 1.2 показана обобщенная схема функционирования ОП.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универ»
e-Univers.ru