

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проектирование машин и систем машин является многоэтапным динамическим процессом. Цель автоматизации проектирования состоит в том, чтобы автоматизировать различные по назначению и содержанию поисковые, вычислительные, чертежные и другие виды операций, сопровождающие процесс создания изделия, и объединить их в автоматизированный управляемый процесс в соответствии с определенной технологией.

Современная практика проектирования самых разнообразных изделий свидетельствует о том, что для достижения успеха специалист должен одинаково хорошо ориентироваться в следующих областях:

- в самом объекте, процессе, системе проектирования и внешних воздействиях на них на всех этапах их жизненного цикла;
- аппарате обработки и анализа входной и выходной информации об объекте, процессе, системе и внешней среде на всех этапах их жизненного цикла;
- математическом моделировании, т. е. в искусстве постановки и формализации задачи, которое заключается в умении перевести техническое задание с проблемно-содержательного языка на язык математических схем и моделей и далее в специальное программное обеспечение;
- методах поиска оптимальных проектных решений при создании как отдельных деталей, так и изделия в целом, обеспечивающих их эффективное изготовление, эксплуатацию, ремонт и обслуживание;
- соответствующем программном обеспечении систем автоматизированного проектирования (САПР), диалоговых системах, банках данных, базах знаний и др.;
- современных компьютерных системах и соответствующих технических средствах.

Проектирование нового изделия начинается с проведения маркетинговых исследований и разработки его концептуальной модели, являющейся или результатом определенной комбинации прототипов исходных технических решений, или результатом решения определенных изобретательских задач, или результатом других действий. Данный этап трудно поддается автоматизации, хотя в этой области уже есть определенные успехи.

Вторым этапом проектирования является формирование многовариантного технического решения, которое включает в себя пост-

роение топологии изделия, создание параметрических двухмерных и трехмерных геометрических моделей, выбор материалов и их характеристик.

Третий этап — формирование совокупности параметрических моделей взаимодействия изделия с внешней средой на всех этапах его жизненного цикла и проведение соответствующих исследований (статических, динамических, имитационных) в целях выявления наилучшего варианта изделия.

Четвертый этап — создание конструкторско-технологической и другой документации для изготовления, эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия с учетом результатов предыдущих этапов.

Параллельно создается единое информационное пространство изделия, позволяющее эффективно выполнять процесс проектирования, создавать пооперационные схемы технологии изготовления изделия, готовить программы для обрабатывающих центров, линий монтажа и сборки, а также эффективно выполнять обслуживание и ремонт изделия.

Цель этой книги — научить будущего специалиста свободно владеть наиболее распространенными современными методами автоматизации проектирования, которые интенсивно развиваются в настоящее время.

В учебнике представлены не только методы описания, моделирования и оптимизации изделий машиностроения, методы и системы автоматизации проектных операций и процедур, принципы построения и основные подсистемы САПР, но и многочисленные примеры их использования.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Основные понятия и определения

Автоматизированное проектирование — это новая, динамично развивающаяся технология проектирования, которая направлена на проектирование оптимальных изделий в кратчайшие сроки с минимальными трудозатратами и высоким качеством. В основе этой технологии проектирования лежит системный подход и использование большого комплекса современных компьютерных технологий.

Автоматизированное проектирование — это многоплановый процесс, в котором автоматизации подвергаются самые разнообразные операции и процедуры. Как правило, в первую очередь автоматизируют наиболее трудоемкие проектные работы: расчетные, графические, а также работы, выполнение которых из-за отсутствия автоматизации снижает эффективность проектируемых изделий.

Исходным объектом проектирования выступает изделие, которое характеризуется определенным набором свойств и параметров.

Изделие — это любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению. В качестве изделия может выступать деталь, сборочная единица, комплекс или комплект.

Для автоматизации проектирования изделий создаются самые разнообразные автоматизированные системы (АС), решающие те или иные задачи проектирования. Автоматизированные системы постоянно развиваются и совершенствуются. В составе АС выделяют общее и специальное программное обеспечение.

Общее программное обеспечение АС — часть программного обеспечения, представляющая собой совокупность программных средств, разработанных вне связи с созданием данной АС. Общее программное обеспечение включает в себя совокупность программ общего назначения, предназначенных для организации вычислительного процесса и решения часто встречающихся задач обработки информации.

Специальное программное обеспечение АС — часть программного обеспечения АС, представляющая собой совокупность программ, разработанных при создании данной АС.

Исходным этапом автоматизации проектирования любого изделия является формирование его описания и различных видов моделей, отражающих те или иные свойства и (или) характеристики изделия.

Описание изделия — это описание заданных свойств и (или) характеристик изделия, включая описание взаимодействия его составных частей (кинематических, структурных схем и т.д.) и самого изделия с внешней средой, а также описание режимов его работы (статический, динамический и т.д.).

Моделью будем называть такую мысленно представляемую или символично выраженную систему, которая, отображая или воспроизводя те или иные свойства и (или) характеристики проектируемого изделия, способна представлять его так, что ее исследование дает новую информацию о проектируемом объекте. Модель — это средство изучения свойств проектируемой или реальной системы и ее элементов. Содержание и форма модели определяются постановкой задачи, целями исследования и уровнем знаний о процессах и системах. Чем сложнее проектируемое изделие, тем, как правило, сложнее модель и важнее роль моделирования в его изучении и создании.

В зависимости от формы и содержания модели можно подразделить:

- на *конструктивные* модели (двухмерные и трехмерные), отображающие пространственные геометрические соотношения между элементами проектируемого изделия;
- *физические* модели, отображающие проектируемое изделие в определенных масштабах и соотношениях;
- *математические* модели, отображающие отношения между различными элементами изделия в виде подходящих отношений математических объектов;
- *имитационные* модели, отображающие функционирование изделия, путем воспроизведения элементарных явлений и актов процесса на компьютере в последовательности, соответствующей реальным взаимосвязям и взаимозависимостям;
- *мнемонические* модели, отображающие те или иные свойства проектируемых изделий в виде графических образов (кинематические, структурные, эквивалентные схемы, размеченные графы состояний и т.д.).

Кинематическая схема определяет количество и типы элементарных кинематических звеньев, параметры, характер и направление связей между ними.

Структурная схема определяет количество и типы элементарных динамических звеньев, параметры динамических звеньев, характер и направление связей между ними.

Функциональная схема определяет количество, типы и направления преобразований потоков вещества, энергии, информации системы или процесса.

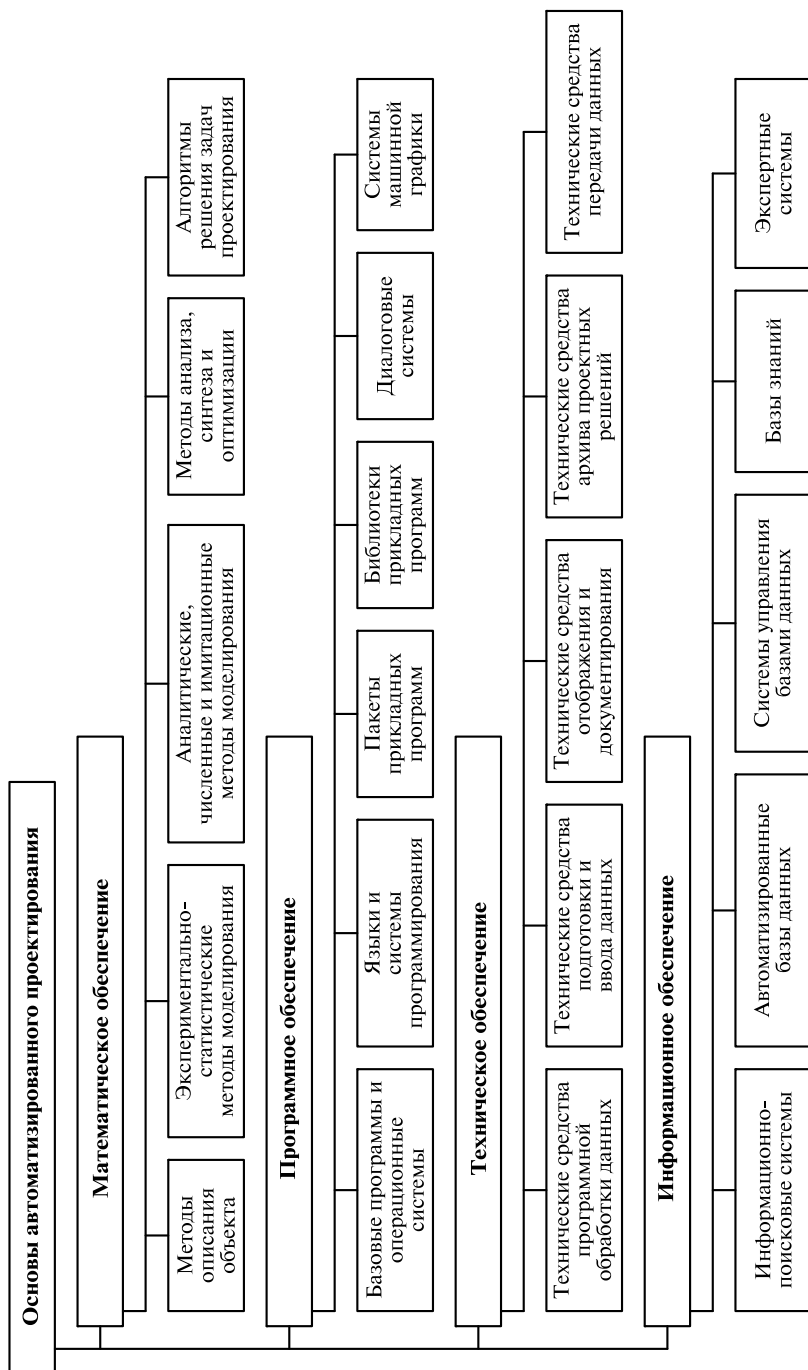


Рис. 1.1. Составные компоненты автоматизированного проектирования изделий

Кинематические, структурные, функциональные и другие схемы, как правило, — это начальные звенья при создании соответствующих математических моделей.

Модель является отображением определенных свойств изучаемых изделий для более глубокого познания с выделением из них наиболее важных, существенных.

Основу автоматизированного проектирования изделий составляют математическое, программное, техническое и информационное обеспечение (рис. 1.1).



Рис. 1.2. Укрупненная схема автоматизированного проектирования

Укрупненная схема компонентов автоматизированного проектирования изделий представлена на рис. 1.2.

Системы автоматизированного проектирования обеспечивают:

- применение современных методов и средств автоматизации проектирования изделий, их изготовления и обслуживания;
- возможность быстрого взаимообмена конструкторской, технологической, эксплуатационной и других видов документации;
- возможность информационной поддержки всех этапов жизненного цикла изделия (исследования, проектирования, производства, эксплуатации, обслуживания и утилизации);
- автоматизацию обработки конструкторских, технологических, эксплуатационных и других видов документов;
- высокое качество проектно-конструкторской, производственной и эксплуатационной документации;
- сокращение сроков и снижение трудоемкости подготовки производства;
- оперативную подготовку документации для быстрой переналадки действующего производства;
- сокращение времени на создание различных форм конструкторских, технологических и других документов;
- возможность создания единого информационного пространства для каждого изделия системы;
- гармонизацию с соответствующими международными стандартами.

1.2. Основные этапы создания изделия

Процесс создания изделия — это сложный многоэтапный процесс, включающий в себя ряд основных этапов: обоснование необходимости создания изделия; научно-технические исследования; разработка конструкторского проекта; изготовление, испытание и доводка опытных образцов изделия.

Обоснование необходимости создания изделия и научно-технические исследования часто называют этапом поискового проектирования, в результате реализации которого формируется техническое задание (ТЗ) на проектирование.

Разработка изделия может включать в себя следующие этапы: предпроектные исследования; формирование ТЗ и технического предложения; создание эскизного технического и рабочего проектов.

Предпроектные исследования включают в себя процедуры, связанные с обоснованием необходимости создания изделия, в результате выполнения которых формируется ТЗ на проектирование. На этой стадии проводится сбор и анализ данных о создаваемом изделии (патентный поиск, исследование потребности в изделии и т.д.), ряд предварительных расчетов и т.д.

Техническое задание является исходным основополагающим документом для начала проектирования изделия. В ТЗ устанавливаются назначение изделия, технические требования к изделию, режимы и условия работы, области применения; проводится увязка параметров с типажом, анализируется информация об экспериментальных работах, проводится сравнительная оценка технического уровня и др. На основании ТЗ разрабатывается техническое предложение.

Техническое предложение представляет собой совокупность документов, отражающих технические решения, принятые в проекте. В нем аккумулируются результаты функционально-физического и функционально-стоимостного анализов и синтеза проектируемой технической системы (ТС), содержатся указания и обоснования по выполняемым функциям, физическим принципам действий, целесообразности использования тех или иных решений, а также дается сравнительная оценка различных вариантов этих решений с учетом технических, экономических, технологических, экологических и других показателей.

На основании технического предложения разрабатываются эскизный, технический и рабочий проекты.

Эскизный проект представляет собой совокупность графической и текстовой документации, дающей общее представление об устройстве, принципе работы, назначении, основных параметрах и габаритных размерах проектируемого изделия, компоновке изделия в целом и его основных узлов.

Технический проект представляет собой более детализированную совокупность графической и текстовой документации, дающей полное и окончательное представление об устройстве изделия и всех его узлов, а также включающей в себя динамические, прочностные и другие виды расчетов.

Рабочий проект представляет собой полную детализацию создаваемого изделия, включая соответствующие расчеты для каждой входящей в него детали, подлежащей изготовлению.

Некоторые из этапов проектирования (создание эскизного или технического проекта) могут быть опущены, все зависит от сложности разрабатываемого объекта, процесса, системы. Конечной целью проектирования является создание высокоэффективных, надежных изделий, находящихся на уровне международных стандартов или его превышающих.

В силу трудоемкости выполнения большого объема проектных работ, тенденции максимального сокращения времени, затрачиваемого на весь цикл процесса создания изделия, а также неуклонного повышения требований к качеству изделия в настоящее время осуществляется постепенный переход к автоматизированному проектированию.

Этот переход связан не только и не столько с возможностями вычислительной техники, сколько с увеличением глубины наших

знаний в области проектирования, эффективным применением современных математических методов, которые облегчают поиск оптимальных решений, и инженерных методов расчета.

Процесс проектирования включает в себя следующие основные процедуры (рис. 1.3):

- анализ и моделирование изделия;
- структурный и параметрический синтез;
- оптимизация и формирование графической и текстовой документации.

Системный анализ — это такой способ изучения изделия, представляемого в виде ТС, при котором рассматриваются его части, называемые системами, подсистемами и элементами, в целях выяснения влияния связей элементов, подсистем и систем на свойства изделия в целом (например, изучение влияния системы управления, системы торможения, системы безопасности и других систем на свойства машины в целом).

Системный анализ предполагает автоматизацию выполнения четырех операций (фаз):

- обследования, заключающегося в содержательном анализе изделия и его свойств;



Рис. 1.3. Основные процедуры проектирования

- формализации, заключающейся в создании комплекса математических (имитационных) моделей, описывающих различные режимы работы изделия;
- программной реализации моделей в виде совокупности программных продуктов, позволяющих осуществлять процедуры анализа и проектирования с помощью компьютера;
- системного анализа проблемы и ее конструктивного решения, которое может представлять собой либо некоторые рекомендации, либо проект изделия.

Диаконтический анализ — это разделение, разбиение, декомпозиция проектируемого изделия на составные части (системы, подсистемы, элементы и т. п.) для облегчения и ускорения процесса проектирования.

Корреляционно-регрессионный анализ — это комплекс методов описания, упорядочения и оценки исходной информации об изделии и среде, в которой предстоит функционировать изделию, имеющей статистический характер.

Спектральный анализ — это комплекс методов оценки частотных свойств, присущих изделиям и существенно влияющих на работоспособность проектируемого изделия.

Статический и динамические анализы — это комплекс методов определения фазовых переменных (усилия, скорости и др.) соответственно в устойчивых и переходных состояниях функционирования изделия.

Инженерный анализ — это комплекс методов исследования напряженно-деформированного состояния моделей проектируемого изделия, получение их динамических характеристик, характеристик устойчивости при постоянных и переменных режимах внешнего нагружения изделия.

Системный синтез — это такой способ проектирования изделия, при котором выбираются их части, называемые системами, подсистемами и элементами, с известным влиянием связей элементов, подсистем и систем на свойства изделия в целом в целях создания более эффективных изделий. Системный синтез является процедурой, обратной системному анализу.

Структурный синтез — это процесс формирования множества альтернативных структур проектируемого изделия. Под структурой понимается определенный набор взаимосвязанных систем, подсистем, элементов с их связями и отношениями.

Параметрический синтез — это выбор совокупности независимых и управляемых параметров и их значений в процессе проектирования изделия (его систем, подсистем и отдельных элементов).

Оптимизация — это совокупность методов, алгоритмов и процедур поиска, позволяющих при наличии различных ограничений (технических, технологических, экономических, экологических и др.) и

целевых установок определить оптимальные параметры и структуру проектируемого изделия.

Геометрическое моделирование — это процесс отображения и воспроизведения геометрической структуры (модели) проектируемого изделия на основе исходных примитивов (базисных элементов, компонентов и др.).

Основой автоматизации проектирования изделия являются топологическое, функциональное и параметрическое описания изделия.

Топологическое описание — это описание структуры, элементов и связей между элементами проектируемого изделия, так называемое описание облика изделия.

Функциональное описание — это описание физической сущности изделия, раскрывающей характер воздействия изделия на внешнюю среду и характер взаимодействия с другими изделиями, а также описание функционирования изделия во времени и пространстве, для чего используют комплекс самых различных моделей.

Параметрическое описание — это описание проектируемого изделия в функции независимых и управляемых параметров (фазовых переменных) для формирования множества альтернативных вариантов и поиска оптимальных.

Функциональное и параметрическое описания проектируемого изделия и современные методы оптимизации явились основой нового этапа — этапа оптимального проектирования, который все больше завоевывает право на обязательное существование.

Обобщенная структурная схема процесса автоматизации проектирования представлена на рис. 1.4.

Автоматизация проектирования требует, с одной стороны, наличия соответствующего математического описания изделия, а с другой — наличия такого математического описания, которое обеспечивает поиск оптимальных решений.

Математическое моделирование обладает следующими основными достоинствами:

- повышается качество проектирования;
- сокращаются сроки разработки изделий;
- уменьшается стоимость разработки проекта.

Качество проектирования повышается благодаря:

- рассмотрению все более сложных совокупностей взаимосвязанных явлений, событий и факторов;
- расширению количества рассматриваемых проектных решений;
- более детальному и всестороннему анализу каждого проектного решения для самых разнообразных условий эксплуатации создаваемого изделия;
- возможности решать принципиально новые проектные задачи со всесторонним моделированием на компьютере сложных процессов, систем;

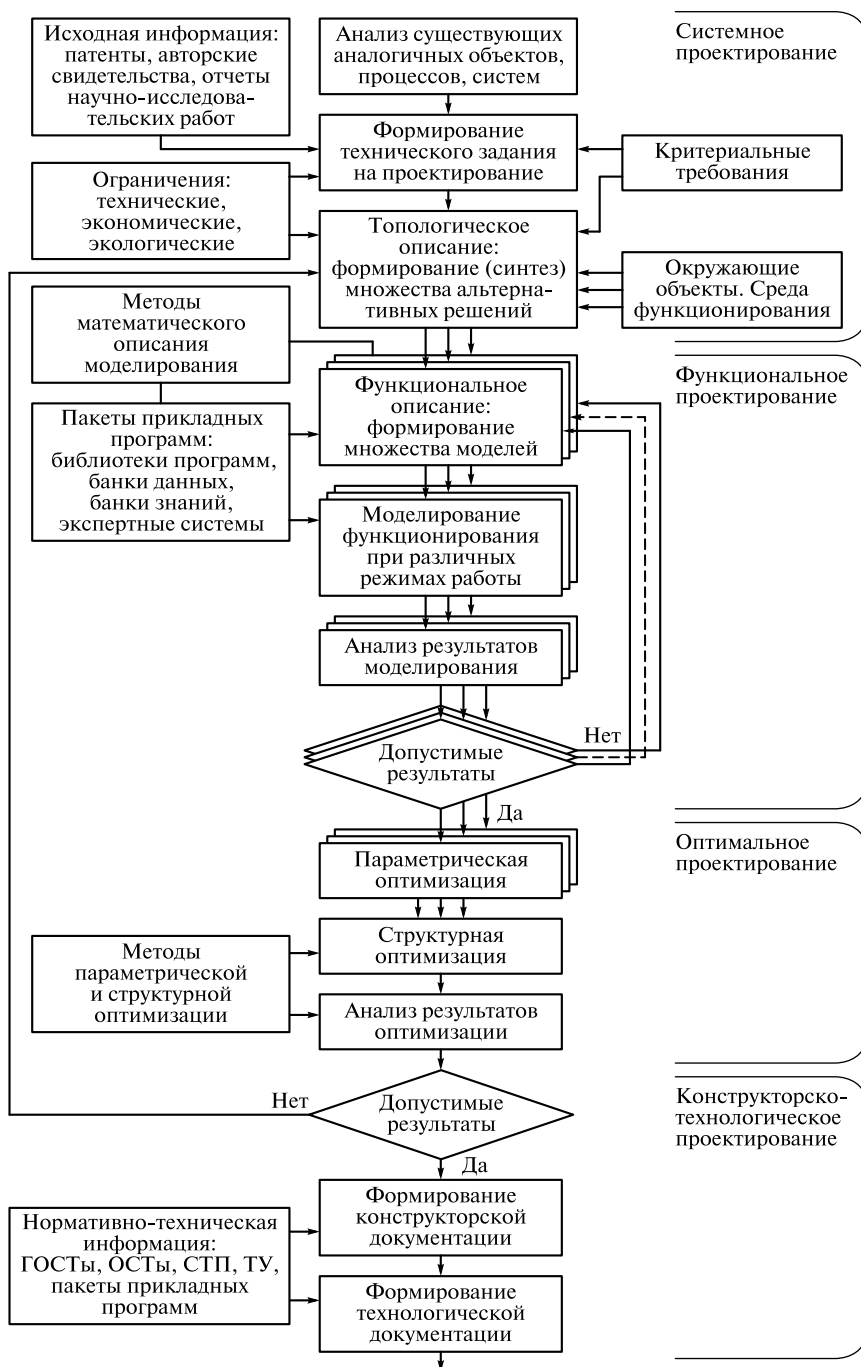


Рис. 1.4. Обобщенная структурная схема процесса автоматизированного проектирования

←

- вооружению проектировщика новыми методами, способами и инструментом, расширяющими и углубляющими диапазон действий в творческом процессе синтеза и оптимизации новых изделий.

Сроки разработки изделий сокращаются вследствие:

- совершенствования и ускорения обработки, анализа и наглядного представления исходной информации;

- широкого использования методов многовариантного проектирования и оптимизации для поиска наиболее эффективных решений;

- ускорения трудоемких инженерных расчетов различного рода (статических, динамических и др.);

- автоматизации моделирования различных проектных решений;

- повышения доли творческого труда проектировщиков путем освобождения их от рутинных, не требующих высокой квалификации работ;

- совершенствования управления всем процессом проектирования от накопления необходимой информации до выпуска проектной документации.

Стоимость разработки проекта уменьшается благодаря:

- повышению качества проектной документации, сокращению затрат на различного рода переделки, доводки;

- сокращению численности специалистов, занятых вспомогательными работами (чертежников, нормировщиков и др.);

- увеличению времени на решение творческих задач специалистами высокой квалификации;

- замене ряда дорогостоящих физических (натурных) экспериментов моделированием на компьютере.

Однако при всех достоинствах математического моделирования на компьютере и в САПР не следует исключать использование интуиции, опыта. При правильном использовании машинные методы и человеческий интеллект должны дополнять друг друга. Так, недостатком интуиции является то, что без соответствующего аналитического или численного исследования и проверки нельзя доказать истинность интуитивных предположений.

Одной из распространенных ошибок проектировщиков и конструкторов является копирование прототипа или его части без учета конкретных требований современного производства и научно-технического прогресса.