

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

С. А. ЕВТЮКОВ, А. А. ОВЧАРОВ, И. В. ЗАМАРАЕВ

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ
И СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН**

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2011

УДК 625.08.001.24:681.3

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. А. Кузьмичёв (ГОУ ВПО СПбГПУ);
канд. техн. наук С. А. Рысс-Березарк (ООО «Ленстройпроект»)

Евтюков, С. А.

Построение математических моделей и систем автоматизированного проектирования подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин: учеб. пособие / С. А. Евтюков, А. А. Овчаров, И. В. Замараев; СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 44 с.

ISBN 978-5-9227-0279-9

Рассматриваются вопросы проектирования технических объектов или систем, их моделирования, принципы построения математических моделей, структура САПР и ее разработка, технические средства САПР, структура программного обеспечения и реализация диалоговых режимов в САПР.

Предназначено для студентов специальностей и направлений подготовки: 190205 – подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование; 190109.65 – наземные транспортно-технологические средства; 190600.62 – эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов. Профиль подготовки – «Сервис транспортных средств и технологических машин». Также представляет интерес для аспирантов, инженеров-конструкторов и научных работников.

Ил. 5. Библиогр.: 8 назв.

Рекомендовано Редакционно-издательским советом СПбГАСУ в качестве учебного пособия.

ISBN 978-5-9227-0279-9 © С. А. Евтюков, А. А. Овчаров,
И. В. Замараев, 2011
© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших направлений научно-технического прогресса в настоящее время стала автоматизация научно-исследовательских и проектных работ. Реализация этого направления требует широкого внедрения в народное хозяйство страны систем автоматизированного проектирования (САПР), а также подготовки инженерных кадров, способных как создавать САПР, так и использовать их в практической деятельности.

Математическое моделирование на ПК и САПР – это качественно новое мощное средство выработки научно обоснованных решений, обеспечивающее повышение точности практических решений и освобождение специалистов от нетворческой (механической) работы.

Широкое использование математического моделирования на ПК и САПР позволяет всесторонне исследовать возможности проектируемой машины или системы машин, изучить влияние различных факторов и параметров, не прибегая к созданию и испытанию реальных образцов машин, оценить эффективность многочисленных вариантов и выбрать из них оптимальный. Реализация методов оптимального проектирования строительных и дорожных машин и оборудования на основе математического моделирования на ПК и использование САПР позволят значительно повысить производительность труда проектировщиков при синтезе и оптимизации искомых параметров создаваемых машин и систем машин, резко поднять степень обоснованности вырабатываемых решений.

В курсе «Математическое моделирование и САПР строительных и дорожных машин» изучаются методология и методы математического моделирования на ПК строительных и дорожных машин и механического оборудования, принципы построения, функциональные возможности и особенности организации информационного,

технического, математического и программного обеспечения САПР, состав и функциональные возможности пакетов прикладных программ САПР и специального программного обеспечения, приводятся сведения по их использованию, овладению методами использования САПР.

Целями изучения дисциплины являются как приобретение студентами знаний основных положений и методов математического моделирования на ПК и САПР строительных и дорожных машин, а также механического оборудования, так и умение использовать эти знания в процессе изучения специальных курсов. К последним относятся «Строительная механика и металлические конструкции строительных машин», «Строительные машины и оборудование», «Машины для земляных работ», «Дорожные машины», «Двигатели внутреннего сгорания, автомобили и тракторы», «Технология машиностроения и ремонта строительных машин», «Комплексная механизация, автоматизация и механоворуженность строительства» и др. Кроме того, студенты должны уметь использовать и пополнять приобретенные знания в процессе практической деятельности после окончания института, в конструкторской, проектной, эксплуатационной и ремонтной работе.

В основу данной дисциплины заложен системный подход, определяющийся особенностями использования электронных вычислительных машин и заключающийся в анализе строительных машин и оборудования, систематизации и составлении программных модулей, которые могут быть интегрированы в различных требуемых сочетаниях.

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИЛИ СИСТЕМ

1.1. Жизненный цикл перспективной технической системы или технического объекта

Одной из важнейших особенностей системного подхода к проектированию является комплексный анализ перспективной технической системы или технического объекта во времени и пространстве. Для описания системы или объекта в пространстве вводится понятие «внешняя среда», а для описания системы во времени – понятие «жизненный цикл», отражающее период существования системы.

Под жизненным циклом системы понимается время начиная с момента возникновения замысла на ее создание и кончая снятием системы с эксплуатации. В нем можно выделить следующие основные стадии (рис. 1.1): выявление необходимости создания перспективной технической системы (ПТС) или объекта (ПТО), обоснование характеристик ПТС (или ПТО), проектирование, изготовление опытных образцов, серийное производство, эксплуатация и целевое применение, снятие с эксплуатации.

Перечисленные стадии распадаются на этапы, отражающие изменение содержания решаемых в них задач (рис. 1.2).

Из жизненного цикла системы (объекта) можно выделить процесс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), или процесс разработки. НИОКР включает в себя обоснование характеристик ПТС (или ПТО), проектирование, изготовление опытных образцов, их испытание и доводку. Выделение процесса НИОКР обусловлено тем, что решения, принятые при разработке, определяют эффективность ПТС (или ПТО) на всех последующих стадиях ее жизненного цикла.

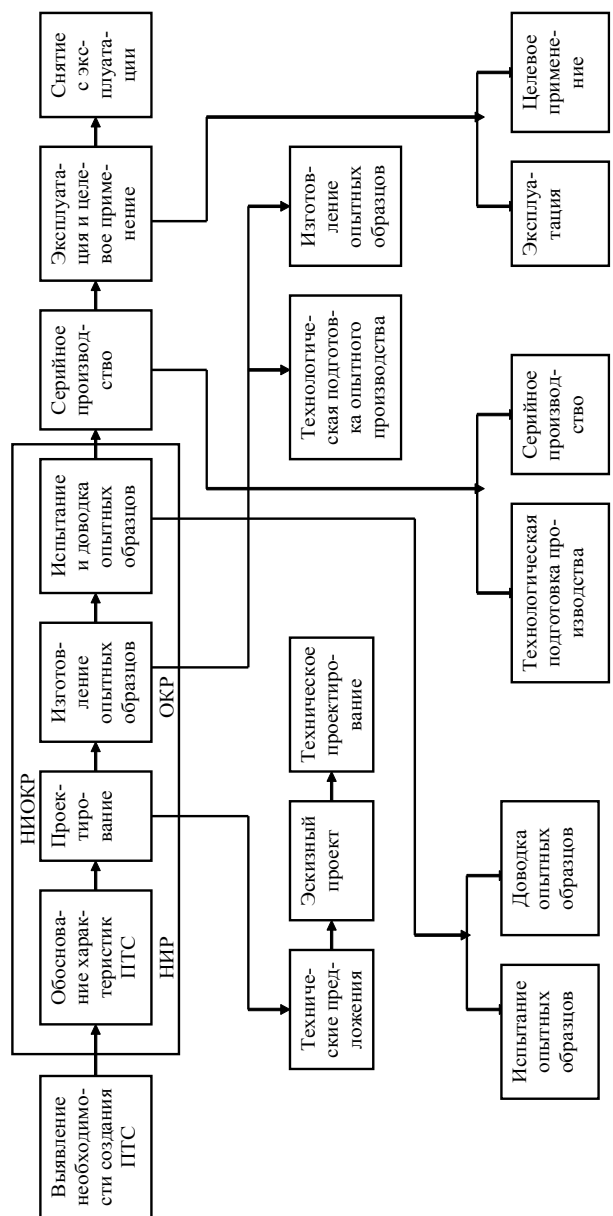


Рис. 1.1. Основные стадии жизненного цикла перспективной технической системы

1.2. Структура процесса проектирования технической системы

Создание и внедрение САПР требуют проведения глубоких исследований для определения места и способа включения технических средств в процесс разработки. В частности, необходимо определить взаимосвязи различных видов деятельности при разработке ПТС (или ПТО) выделением операций, допускающих или не допускающих автоматизацию. Характеристики этих операций в значительной степени определяют требования к техническим средствам САПР, а также к их программному, информационному, методическому и организационному обеспечению.

В связи с этим рассмотрим содержание этапов проектирования технической системы (см. рис. 1.2). Первым этапом является разработка технических предложений, т. е. выбор концепции ПТС (или ПТО), ее облика, параметров и основных характеристик в соответствии с техническим заданием (ТЗ).

Характерной особенностью этапа разработки технических предложений является то обстоятельство, что самое приближенное технико-экономическое обоснование (ПО) возможно лишь после проведения некоторого объема проектных работ. Поэтому на данном этапе существует обмен информацией между заказчиком и разработчиком, в результате чего возможна некоторая корректировка ТЗ.

При разработке технических предложений учитываются конструктивные и эксплуатационные особенности ПТС (или ПТО), тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники. Для сравнительной оценки различных технических решений могут изготавливаться и испытываться отдельные элементы, узлы или модели машины. Кроме того, на данном этапе прорабатываются вопросы использования ПТС (или ПТО), составляется перечень теоретических и экспериментальных работ, подлежащих выполнению в процессе НИОКР, определяется уточненный состав исполнителей работ, изготовителей опытных образцов и серийных изделий, разрабатывается проект единого сквозного плана проведения НИОКР, включающего сведения об исполнителях и данные о времени и затратах на создание технической системы, содержащие информацию о составных элементах последней, а также сведения о затратах на ее испытание и внедрение в серийное производство.



Рис. 1.2. Этапы проектирования технической системы

Для более полной оценки соответствия ПТС требованиям ТЗ (например, для проверки компоновки оборудования, агрегатов и механизмов) в ряде случаев создается макет проектируемого объекта.

По результатам эскизного проектирования принимается решение о дальнейшей работе над проектом.

Целью разработки технического проекта (этап технического проектирования) является выдача комплекта конструкторской документации на ПТС, инструкций по производству ее элементов и подсистем, эксплуатации системы и т. д.

На этом этапе осуществляется подробная проработка конструкции, производится увязка подсистем, выполняется большой комплекс расчетов и экспериментальных исследований.

Сложившаяся практика приводит к различным схемам структуризации НИОКР в отраслях промышленности. Однако чаще всего структура НИОКР (в частности, процесса проектирования) соответствует структуре разрабатываемой ПТС.

Процесс проектирования можно разбить на три этапа:

- *первый этап* – выработка технических предложений, на котором проектируется изделие в целом (выявляются параметры, характеризующие взаимодействие объекта с внешней средой);
- *второй этап* – разработка эскизного проекта, на котором процесс проектирования детализируется до уровня агрегатов и систем, а также конструктивных элементов и функциональных подсистем;
- *третий этап* – техническое проектирование, на котором процесс проектирования делится до уровня узлов и деталей изделия.

1.3. Моделирование процесса проектирования

Математические модели процесса проектирования определяются кругом проблем и частных вопросов, решаемых на каждом конкретном этапе проектирования.

В соответствии с показанной выше иерархической структурой процесса проектирования можно построить и иерархию моделей. Переход к моделям более низкого уровня осуществляется по мере углубления проектной проработки ПТС (или ПТО).

Анализ процесса проектирования различных технических систем показывает, что можно выделить группу задач, возникающих практически на каждом этапе проектирования. При переходе от одного этапа к другому формулировка типовых задач повторяется, при этом производится последовательная декомпозиция крупных задач на ряд более мелких. Решение на каждом последующем этапе проектных задач всё меньшей размерности приводит к тому, что общее количество информации о разрабатываемом изделии увеличивается.

Для решения указанных задач в процессе проектирования сложных технических объектов реализуются следующие обобщенные процедуры:

- выявление потребности в разработке новой технической системы или ее элементов;
- анализ технических возможностей создания системы;
- анализ производственных возможностей.

Указанные процедуры обеспечивают совместное рассмотрение характеристик разрабатываемой технической системы с параметрами реализующего их процесса. При этом в зависимости от постановки проектных задач взаимодействие процедур будет различным.

Ввиду множества решаемых задач и трудности их формализации целесообразно идти не по пути создания одной общей модели, пригодной для решения всей совокупности задач, а по пути разработки системы моделей. По своему содержанию модели будут отличаться друг от друга в зависимости от этапа проектирования. Однако по своей структуре они, как правило, должны содержать следующие блоки: ввод ТЗ; банк данных (блок, содержащий справочную информацию, статистические, экономические и другие данные); блок генерирования вариантов проектных решений; блок предварительной оценки вариантов; блок формирования математической модели для расчета технико-экономических характеристик; блоки оценки показателей для принятия решений; блок формирования сетевой модели процесса разработки; блок расчета характеристик процесса разработки.

1.4. Влияние автоматизации на процесс проектирования

Внедрение САПР в процесс проектирования оказывает заметное влияние на его содержание и организацию. Прежде всего, при внедрении САПР возрастает производительность труда разработчиков вследствие использования методов проектирования, требующих меньше времени и затрат. Кроме того, в результате применения современных математических методов и средств переработки информации улучшаются условия для творческой работы. Так, предварительная оценка внедрения перспективных систем автоматизации проектирования показывает, что сокращение времени на поиск необходимой информации, рутинные операции подготовки данных и вычисления существенно увеличивает возможности процесса проведения исследований, анализа их результатов и обоснованного принятия проектных решений. С внедрением САПР развивается тенденция использования имитационных моделей на ЭВМ вместо практикуемого в настоящее время физического эксперимента. Все названные выше факторы, наряду с сокращением времени и стоимости разработки, будут способствовать улучшению качества и характеристик ПТС (или ПТО).

По мере качественного развития САПР и интеграции ее с системами управления предприятий и отраслями машиностроения появится тенденция к сокращению числа стадий и этапов НИОКР. В частности, возможно уменьшение числа стадий НИОКР до двух:

- предпроектные исследования, включающие углубленную проектную проработку, например, гидравлического экскаватора;
- разработка, включающая техническое проектирование, изготовление опытных образцов, их испытание и доводку.

Глава 2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Математические модели и их иерархические уровни

Разработка и исследование строительных машин, как и любой другой сложной техники, включает рассмотрение следующих вопросов:

- синтеза системы объектов, который состоит в выборе параметров, структуры и условий их применения;
- анализа системы, заключающегося в изучении свойств, в зависимости от значений основных параметров и структуры.

Одним из наиболее эффективных способов реализации указанных положений является математическое моделирование технических объектов на ПК. Математическое моделирование есть процесс получения полезной информации об объекте на основе использования математической модели (ММ) и оперирование ее математическими методами. ММ, как и любая другая модель (например, физическая), является идеализацией реального объекта на основе его формализации, т. е. выделения наиболее существенных черт и свойств, отражающих его параметры и структуру. Особенностью ММ является то, что она представляет собой совокупность элементов математического вида, называемых переменными, с указанием связей в отношениях между ними, выражаемых математическими зависимостями, адекватно отображающими свойства объекта.

Разработка ММ является важным этапом математического моделирования технических объектов.

В настоящей работе приводятся основные принципы построения теоретических ММ на микро- и макроуровнях описания проектируемых объектов на основе аналитического способа представления свойств объектов, характеризующих простейшие и слож-

ные элементы конструкций строительных машин и обрабатываемых сред.

Строительные машины, как объект проектирования, имеют сходную структуру и состоят из многих компонентов: деталей (винт, стойка, вал и т. п.), сборочных единиц (редуктор, карбюратор, двигатель внутреннего сгорания, стрела экскаватора, гидроцилиндр, например механизма подъема стрелы и т. п.), агрегатов (двигатель внутреннего сгорания, рабочее оборудование (например, экскаватора – система из сборочных единиц, включающая ковш, рукоять, стрелу и механизм их управления), гусеничная тележка трактора, лебедка, например механизма подъема стрелы крана) и т. п. Такое расчленение машин на составные элементы позволяет вести раздельное проектирование (поблочно) с последующим объединением элементов в систему.

При таком подходе осуществляется возможность для каждого элемента системы составить соответствующее описание, т. е. составить ММ, с помощью которой можно рассчитать и спроектировать основные конструктивные и эксплуатационные параметры элемента. Описания технических объектов должны быть по сложности согласованы с возможностями восприятия человеком и оперирования описаниями в процессе их преобразований с помощью имеющихся средств проектирования.

Разделение описаний по степени детализации отображаемых свойств и характеристик объекта лежит в основе блочно-иерархического подхода к проектированию и приводит к появлению иерархических уровней (уровней абстрагирования) в представлениях о проектируемом объекте.

На каждом иерархическом уровне используются свои понятия системы и элементов. На верхнем уровне (уровень 1) подлежащий проектированию сложный объект рассматривается как система S из n взаимосвязанных и взаимодействующих элементов S_i . Каждый из элементов в описании уровня 1 также представляет собой довольно сложный объект, который рассматривается как система S_i на уровне 2. Элементами систем S_i являются объекты S_{ij} ($j = 1, 2, \dots, m_i$, где m_i – количество элементов в описании системы S_i).

Как правило, выделение элементов S_{ij} происходит по функциональному признаку. Подобное разделение продолжается вплоть до получения на некотором уровне элементов, описание которых дальнейшему делению не подлежит. Такие элементы по отношению к объекту S называют базовыми.

Таким образом, принцип иерархичности означает структурирование представлений об объекте проектирования по степени детальности описаний, а принцип декомпозиции (блочности) – разбиение представлений уровня на ряд составных частей (блоков) с возможностью отдельного (поблочного) проектирования объектов S_i на уровне 1, объектов S_{ij} на уровне 2 и т. д.

Примером блочно-иерархической структуры представлений об объекте в машиностроении может служить машина, состоящая из агрегатов, включающих сборочные единицы, которые состоят из деталей. В этом случае детали являются базовыми элементами, которые рассматриваются как элементы, фигурирующие в описаниях низшего иерархического уровня, на котором системами являются сборочные единицы – элементы агрегатов, являющихся системами следующего иерархического уровня, и т. д.

Среди свойств объекта, отражаемых в описаниях на определенном иерархическом уровне проектируемых объектов, в том числе в ММ, различают свойства систем, элементов систем и внешней среды, в которой должен функционировать объект. Количественное выражение этих свойств осуществляется с помощью величин, называемых параметрами. Величины, характеризующие свойства системы, элементов системы и внешней среды, называют соответственно выходными, внутренними и внешними параметрами. Например, для землеройной машины выходными параметрами являются скорость движения и рабочее усилие, развиваемое рабочим органом, параметрами рабочего органа – емкость ковша или длина отвала и пр. Внутренние параметры – это масса рабочих органов, КПД трансмиссии, тип привода рабочих органов, усилие на гидроцилиндре управления рабочим органом; внешние параметры – характеристики грунта, условия забора и отгрузки грунта и др.

Введем обозначения: $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ – вектор выходных параметров некоторой системы; $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и $\mathbf{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ – векторы внутренних параметров, тогда

$$\mathbf{Y} = \mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{Q}). \quad (1)$$

Функциональная зависимость (1) является ММ, характеризующей свойства системы в зависимости от внутренних и внешних параметров. Наличие ММ позволяет легко оценивать выходные параметры по известным значениям векторов \mathbf{X} и \mathbf{Q} . Однако зависимость в виде (1), как правило, удается получить только для очень простых объектов. Более распространенной является ситуация, когда математическое отражение процессов в проектируемом объекте задается моделью в форме системы уравнений, в которую, помимо величин \mathbf{Y} , \mathbf{X} и \mathbf{Q} , входят величины, характеризующие состояние объекта проектирования, называемые фазовыми переменными. ММ в форме системы уравнений, в которой фигурирует вектор фазовых переменных \mathbf{V} , можно представить в виде

$$L\mathbf{V}(\mathbf{Z}) = \mathbf{Y}(\mathbf{Z}), \quad (2)$$

где L – некоторый оператор; \mathbf{Z} – вектор независимых переменных, в общем случае включающий время и пространственные координаты; $\mathbf{Y}(\mathbf{Z})$ – заданная функция независимых переменных.

Фазовые переменные характеризуют физическое или информационное состояние объекта, а их изменения во времени выражают переходные процессы в нем. К фазовым переменным относятся силы и скорости (в описаниях механических систем), давление и расходы (в описаниях гидравлических и пневматических систем).

При блочно-иерархическом подходе к проектированию в рамках математического описания объектов в зависимости от принадлежности к иерархическому уровню ММ делятся на относящиеся к микро-, макро- и метауровням.

Особенностью ММ на микроуровне является отражение физических процессов, протекающих в непрерывном пространстве и времени. Типичные ММ на микроуровне – дифференциальные уравнения в частных производных (ДУЧП). В них независимыми

переменными являются пространственные координаты и время. С помощью этих уравнений рассчитываются поля механических напряжений и деформаций, давлений, температур и т. п. Возможности применения ММ в виде ДУЧП ограничены отдельными деталями; попытки анализировать с их помощью процессы в многокомпонентных средах или сборочных единицах не могут быть успешными из-за чрезмерного роста машинного времени и памяти. В частности, при использовании ММ объектов в виде ДУЧП для моделирования даже очень простых технических систем порядок аппроксимирующих алгебраических систем уравнений при моделировании в трехмерном пространстве доходит до 10^6 и более. Поэтому при моделировании технических систем, состоящих из большого числа элементов, переходят к моделированию на макроуровне, на котором используют укрупненную дискретизацию пространства по функциональному признаку, т. е. в технической системе выделяют достаточно крупные элементы, которые в дальнейшем рассматриваются в виде неделимой единицы (базового элемента). Непрерывной независимой переменной остается (в сравнении с моделированием на макроуровне) только время. ММ технической системы на макроуровне будет система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). В этих уравнениях независимой переменной является время, а вектор зависимых переменных составляют фазовые переменные, характеризующие состояние укрупненных элементов дискретизированного пространства. Такими переменными для механических систем являются сила и скорость. Системы ОДУ являются универсальными моделями на макроуровне, пригодными для анализа как динамических систем, так и установившихся состояний объектов. Модели для установившихся режимов можно также представить в виде алгебраических уравнений. Порядок системы уравнений зависит от числа выделенных элементов объекта. Если порядок системы приближается к 10^3 , то оперирование моделью становится затруднительным, что диктует необходимость перехода к представлениям на метауровне.

На метауровне в качестве элементов принимают достаточно сложные совокупности деталей. Метауровень характеризуется

большим разнообразием типов используемых ММ. Для многих объектов ММ на метауровне по-прежнему представляются системами ОДУ. Но поскольку в моделях не описываются внутренние (для элементов) фазовые переменные, относящиеся к взаимным связям элементов, то укрупнение элементов на метауровне означает получение ММ приемлемой размерности для осуществления более сложных объектов, чем на макроуровне. Важный класс ММ на метауровне составляют модели массового обслуживания, приемлемые для описания процессов функционирования строительных машин, производственных участков, линий и цехов по ремонту и техническому обслуживанию строительных машин и др.

2.2. Математическое моделирование технических объектов на микроуровне

На уровне проектирования базовых элементов большинства технических систем (деталей машин, например валов, винта, шпонки и т. п.) используются распределенные ММ, представляющие собой системы дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП). При создании теоретических ММ целесообразно исходить из основных физических законов в их наиболее «чистом», фундаментальном виде. Соблюдение этого принципа обеспечивает получение достаточно универсальных моделей.

К наиболее общим фундаментальным законам в первую очередь относятся законы сохранения массы, количества движения, энергии и др. Общая формулировка этих законов, помогающая перейти к математическим уравнениям, может быть описана следующим образом: *изменение во времени некоторой субстанции в элементарном объеме равно сумме притока-стока этой субстанции через поверхность элементарного объема.*

В качестве субстанции выступают масса, количество движения, энергия. Приведенная формулировка справедлива и для некоторых других субстанций: например, количества частиц, количества элементарных электрических зарядов, количества теплоты. Только при этом к сумме притока-стока через поверхность объема следует

добавить член, характеризующий скорость генерации или уничтожения субстанции в элементарном объеме. Тогда общий вид уравнений, составляющих основу распределенных моделей, будет следующим:

$$\partial\varphi/\partial t = -\operatorname{div} \mathbf{J} + G, \quad (3)$$

где φ – некоторая фазовая переменная, выражающая субстанцию (плотность, энергия, импульс и т. п.); \mathbf{J} – поток фазовой переменной; G – скорость генерации субстанции; t – время.

Поток фазовой переменной есть вектор \mathbf{J} : $\mathbf{J} = (\mathbf{J}_x, \mathbf{J}_y, \mathbf{J}_z)$.

Дивергенция этого вектора, как и любого другого, определяется формулой

$$\operatorname{div} \mathbf{J} = \partial\mathbf{J}/\partial x + \partial\mathbf{J}/\partial y + \partial\mathbf{J}/\partial z$$

и характеризует сумму притока-стока субстанции через поверхность элементарного объема.

Уравнение закона сохранения массы имеет вид

$$\partial\rho/\partial t = -\operatorname{div}(\rho u), \quad (4)$$

где ρ – плотность массы; u – скорость.

При одномерном рассмотрении, когда отличная от нуля скорость существует только в одном направлении, например направлении оси x , уравнение (4) упрощается:

$$\partial\rho/\partial t = -\partial(\rho u)/\partial x.$$

Уравнения закона сохранения количества движения (импульса) без учета действия внешних сил в одномерном приближении записываются в виде

$$\partial(\rho u)/\partial t = -\partial(\rho u^2)/\partial x - \partial p/\partial x, \quad (5)$$

где p – давление.

Уравнение закона сохранения энергии

$$\partial(\rho E)/\partial t = -\operatorname{div}(\mathbf{J}_E), \quad (6)$$

где $E = e + U^2/2$ – полная энергия единицы массы; \mathbf{J}_E – полный поток энергии; e – внутренняя энергия единицы массы.

В одномерном случае

$$\partial(\rho E)/\partial t = -\partial\mathbf{J}_E/\partial x.$$

Уравнения (3)–(6) лежат в основе ММ многих механических, теплотехнических, гидроаэродинамических устройств при их проектировании на микроуровне.

Одной из часто встречающихся задач при проектировании объектов на микроуровне является задача определения прочности узлов и конструкций. Круг этих задач – исследование напряженных состояний конструкций и связанные с этим расчеты на прочность.

Например, напряженное состояние деталей конструкций в зависимости от геометрии исследуемого узла вида приложенной нагрузки и свойств материала описывается дифференциальными уравнениями различного вида. Любое из этих уравнений может быть получено из общего квазигармонического уравнения

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial Y}{\partial u} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial Y}{\partial u} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial Y}{\partial z} \right) + Q = 0, \quad (7)$$

где x, y, z – пространственные координаты; Y – искомая непрерывная функция; K_x, K_y, K_z – коэффициенты; Q – внешнее воздействие.

Уравнение (7) лежит в основе анализа любого напряженного состояния деталей. С его помощью можно проанализировать напряженное состояние детали при растяжении, изгибе и т. п. Например, рассмотрим напряженное состояние стержня при кручении. В двухмерном случае при $K_x = K_y = 1$ уравнение (7) сводится к уравнению, описывающему возникновение напряжений в поперечном сечении упругого однородного стержня под воздействием крутящего момента M :

$$\partial^2 Y/\partial x^2 + \partial^2 Y/\partial y^2 + 2E\theta, \quad (8)$$

где E – модуль сдвига материала стержня; θ – угол закручивания на единицу длины; Y – функция, связанная с направлением сдвига τ_x и τ_y , уравнениями $\tau_x = \partial Y/\partial y$; $\tau_y = \partial Y/\partial x$. В уравнение (8) в явной виде не входят крутящий момент, связанный с искомой

функцией напряжения Y уравнением $M = 2 \int_S Y dS$, где S – площадь рассматриваемого сечения.

Уравнения (7) и (8) имеют множество решений. Для получения единственного решения необходимо задавать краевые условия. (Сведения об искомым непрерывных функциях на границах рассматриваемых областей – граничные условия, а в случае нестационарных задач значения этих же функций в начальный момент времени – начальные условия.)

Исходные ДУЧП вместе с краевыми условиями носят название дифференциальной краевой задачи и представляют собой ММ исследуемого объекта.

2.3. Моделирование на макроуровне

При моделировании на макроуровне в технической системе объекта проектирования выделяют достаточно крупные элементы (по сравнению с моделированием на микроуровне), которые в дальнейшем рассматриваются в виде переменной единицы. Непрерывной независимой переменной остается только время. ММ технических систем на макроуровне будут системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).

Поведение большинства технических подсистем можно охарактеризовать с помощью фазовых переменных, образующих вектор неизвестных в ММ технической системы. Например, в механической поступательной подсистеме фазовыми переменными являются силы и скорости, а в упругих системах это силы и перемещения.

Законы функционирования элемента подсистемы (в дальнейшем – просто «элемента») задаются компонентными уравнениями, соединяющими, как правило, разнородные фазовые переменные, относящиеся к данному элементу (т. е. компонентные уравнения связывают переменные потока с переменными типа потенциала). При моделировании на макроуровне для каждого элемента объекта компонентные уравнения получают теоретическим или физическим макетированием либо математическим моделированием на

микроуровне. При математическом моделировании первым этапом будет выделение элементов путем разбиения общей структуры системы технического объекта на отдельные участки, а вторым – переход к усредненным в пределах участка значениям параметров и фазовых переменных.

Исходными уравнениями для получения ММ элементов являются уравнения микроуровня, например уравнения (3). Усреднение значений параметров и фазовых переменных заключается, прежде всего, в замене частных производных значений фазовых переменных $\partial y / \partial x$ на отношения разности значений фазовых переменных φ_1 и φ_2 на границах участка, на котором происходит изменение фазовых переменных к длине этого участка l (l – длина элемента в направлении оси x). В простейших элементах связь между фазовыми переменными выражается в одном из следующих трех типов

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = RI; \quad \tilde{n} \frac{d(\varphi_1 - \varphi_2)}{dt} = I; \quad L \frac{dI}{dt} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (9)$$

где U , I и φ – фазовые переменные типов скорости (напряжения), типа потока, типа потенциала соответственно; R , C и L – внутренние параметры типов диссипации энергии, накопления кинетической энергии, накопления потенциальной энергии соответственно. Такие уравнения (9) называют компонентными.

Полные ММ систем получают объединением ММ элементов в общие системы уравнений на основе физических законов, выражающих условия равновесия и непрерывности фазовых переменных. Уравнения этих законов называют топологическими.

В общем случае для механических систем основными простейшими элементами являются: элементы массы, отображающие свойства инерционности; элементы гибкости, отображающие свойство упругости; элементы механического сопротивления, отображающие потери механической энергии на трение. Каждый участок в механической системе может одновременно обладать двумя или тремя названными свойствами; тогда для такого участка справедливо представление с помощью эквивалентных систем, состоящих из необходимых элементов массы гибкости и сопротивления.

Примером компонентного уравнения для массы может служить уравнение второго закона Ньютона

$$F = \frac{d(mU)}{dt}, \quad (10)$$

где m – масса элементарного участка; F – сила; U – скорость.

Компонентное уравнение для элементов гибкости (пружина или упругий стержень), на которые действуют только продольные силы и для которых интерес представляют только продольные перемещения, получают на основе закона Гука

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l}, \quad (11)$$

где σ – механическое напряжение; l – длина элемента (стержня); Δl – изменение длины стержня; $E = l/K$ – модуль Юнга; K – коэффициент упругости.

Для выражения фазовых переменных в виде силы и скорости выполняются следующие преобразования.

Представим напряжение в виде $\sigma = F/S$, где F – сила, действующая на элемент в продольном для элемента направлении, а S – площадь поперечного сечения. После дифференцирования по времени имеем $\partial F / \partial t = (SE/l)[d(\Delta l) / dt]$, где $d(\Delta l) / dt = U$ – скорость. Заметим, что величина l/SE есть гибкость элемента, т. е. обратная величина коэффициенту упругости. Обозначив ее через L , получим $U = L(dF / dt)$.

Если при поступательном нагружении элемента действует сила сопротивлений, пропорциональная скорости, уравнение, характеризующее эту силу, имеет вид

$$F = \mu U, \quad (12)$$

где μ – коэффициент вязкого трения.

Для приведенных выше компонентных уравнений (9)–(12) первое топологическое уравнение есть уравнение равновесия сил, действующих на рассматриваемое тело. Это уравнение согласно принципу Даламбера имеет вид

$$\sum F_k = 0. \quad (13)$$

Второе топологическое уравнение выражает принцип сложения скоростей, в соответствии с которым сумма абсолютной, относительной и переносных скоростей равна нулю:

$$\sum_i U_i = 0. \quad (14)$$

Для механических вращательных систем фазовые переменные выражают через момент сил M и угловые скорости ω . В этом случае компонентные и топологические уравнения примут иной вид. Основное уравнение динамики вращательного движения (компонентное уравнение) имеет вид

$$M = J(dw / dt), \quad (15)$$

где J – момент инерции элемента.

Уравнение кручения бруса с круглым поперечным сечением (компонентное уравнение)

$$M_{кр} = GJ_p \theta, \quad (16)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент; G – модуль сдвига; J_p – полярный момент инерции сечения; $\theta = \partial \varphi / \partial l$ – относительный угол накручивания.

Уравнение вращения с вязким сопротивлением:

$$M = \mu \omega, \quad (17)$$

где μ – коэффициент вязкого трения.

Топологические уравнения механической вращательной системы выражают принцип Даламбера для вращательных механических систем и закон сложения скоростей вокруг данной оси:

$$\sum_k M_k = 0; \quad \sum_i \omega_i = 0. \quad (18)$$

На основе рассмотренных ММ простейших подсистем возможно получение теоретических ММ многих технических объектов.

Глава 3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА САПР

3.1. Системные свойства и структура САПР

САПР – это организационно-техническая система, с которой взаимодействует коллектив проектировщиков и которая представляет комплекс средств методического, математического, лингвистического, программного, информационного, технического и организационного обеспечения, объединенных в рамках единой структуры для решения задач разработки технических объектов или систем.

Назначение САПР – улучшить качество проектируемых изделий, сократить цикл разработки, повысить эффективность организации процесса проектирования.

Можно выделить следующие основные задачи, решаемые САПР:

- анализ тенденций развития проектируемых объектов (систем) и их характеристик;
- генерирование вариантов (альтернатив) проектных решений;
- проектно-конструкторская проработка вариантов и оценка их эффективности;
- проведение и обработка экспериментальных исследований;
- выбор рационального (оптимального) решения;
- выпуск конструкторской документации;
- оперативный контроль за характеристиками объекта (системы) на всех этапах разработки;
- управление процессом проектирования.

Чтобы выполнить поставленные перед ней задачи, система автоматизированного проектирования должна обладать рядом свойств:

- интеллектуальностью – способностью к мотивации своих действий на основе анализа обстановки, своего состояния и накопленных знаний;
- способностью совершать осознанные целенаправленные действия;

- эргатичностью – возможностью для человека играть активную роль, вмешиваться в процесс, принимать решения по ходу выполнения задачи;

- коллективностью – возможностью одновременной работы большого числа пользователей как при решении индивидуальных задач, так и при координации их усилий в рамках выполнения единого проекта;

- декомпозируемостью – возможностью использования отдельных подсистем в качестве самостоятельных систем, специализированных в различных областях;

- многоязычностью и «мультиинформационностью» – возможностью применения нескольких входных языков различных уровней, а также способностью воспринимать входную информацию, представленную в различной форме: алфавитно-цифровой, графической и речевой;

- информационной обеспеченностью – возможностью получения, накопления и сохранения справочной информации постоянного и временного характера;

- модульностью структуры – возможностью реализации всех компонентов системы в виде функционально завершенных единиц – модулей;

- иерархичностью, выражающейся в группировке модулей или их совокупностей по нескольким уровням (элементы верхнего уровня имеют приоритет действий – право вмешательства в действия элементов нижнего уровня, причем действия элементов верхнего уровня зависят от фактического исполнения нижними уровнями своих функций);

- эволюционностью – возможностью развития средств САПР как в количественном, так и в качественном отношении (расширение, смена объектов проектирования, способность к самообучению).

Структуризация САПР может быть проведена на основе следующих принципов:

- физической однородности подсистем;
- функционального назначения подсистем.

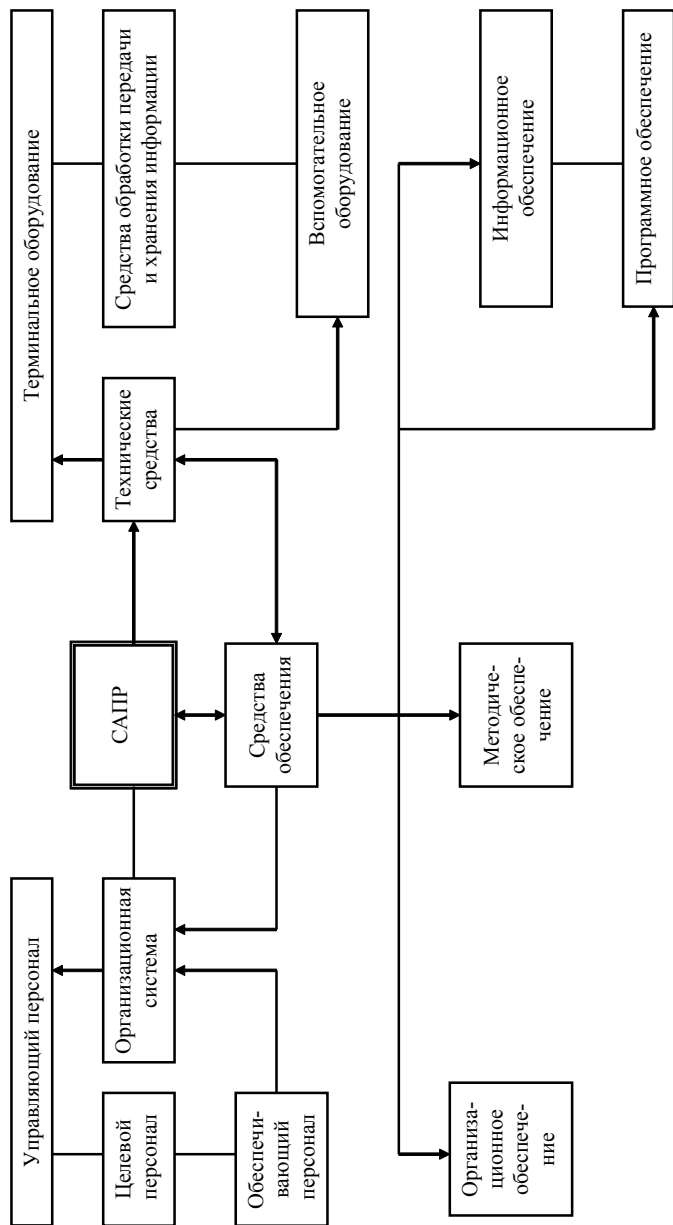


Рис. 3.1. Структура САПР

Укрупненная структура САПР приведена на рис. 3.1. Ее основными подсистемами (составляющими) являются организационная система средства обеспечения и технические средства.

Организационная система представляет собой объединение людей, совместно реализующих некоторые цели и действующих на основе определенных процедур и правил.

Средства обеспечения необходимы для информационного взаимодействия коллектива и комплекса технических средств.

Технические средства представляют собой аппаратные средства вычислительной и организационной техники, каналы связи и вспомогательное оборудование, участвующее в преобразовании информационных и энергетических потоков в процессе проектирования.

3.2. Последовательность разработки САПР

Работы по созданию САПР должны проводиться системотехниками и проектировщиками, объединенными в один коллектив, ориентированный на решение поставленной задачи.

Разработка САПР должна начинаться с исследования проектно-конструкторской организации (ПКО), анализа процесса проектирования и формирования технических заданий (ТЗ) на САПР (рис. 3.2).

Все составляющие САПР – это сложные динамические системы, характерной чертой которых являются иерархичность и нелинейность, выражающаяся в наличии взаимосвязанной структуры целей обратной связи. Кроме того, это крупномасштабные системы, характеристики которых в начале проектирования неизвестны.

В настоящее время для моделирования таких систем в основном используются методы имитационного моделирования. Достоинством их является возможность вмешиваться в работу модели на любом этапе моделирования, корректировать модель, вплоть до замены ее отдельных блоков. Ввиду своей гибкости, способности хорошо адаптироваться к условиям моделирования имитационные модели полностью отвечают требованиям системного анализа при исследовании сложных систем.

В соответствии с порядком формирования облика и методологией построения САПР, необходимо разработать модели: процесса проектирования; организационной системы; комплекса средств обеспечения; комплекса технических средств (ТС).

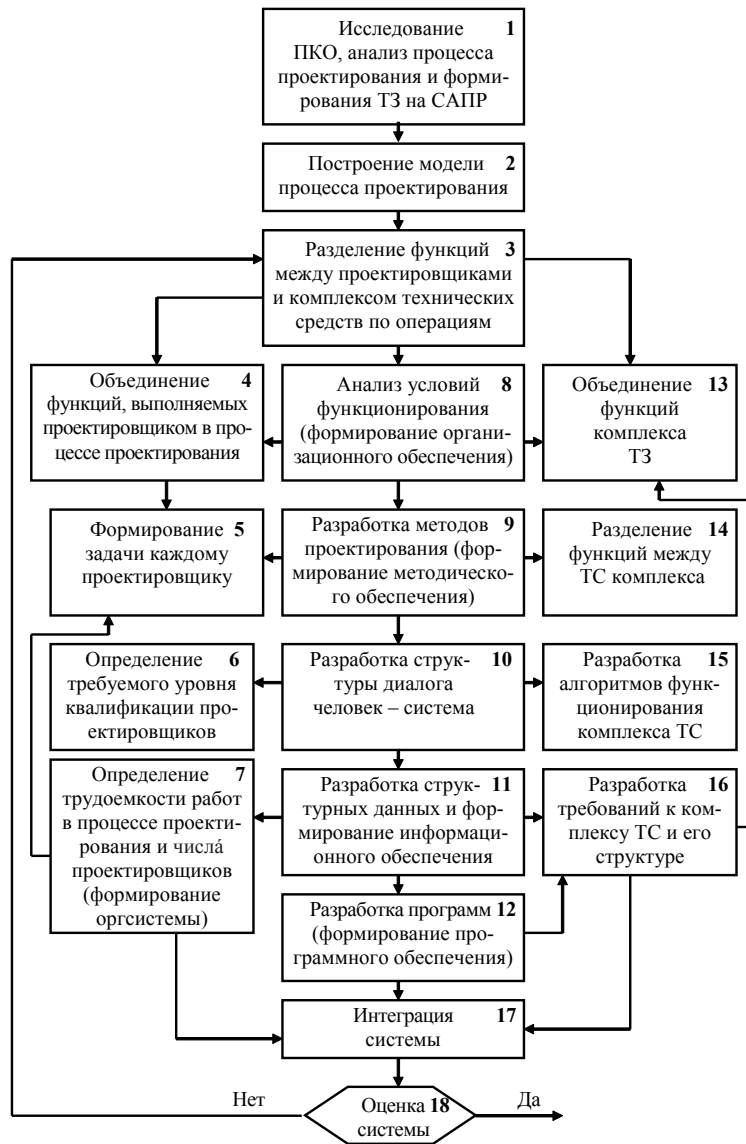


Рис. 3.2. Последовательность разработки САПР

Глава 4. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

4.1. Классификация научно-технических задач, решаемых с помощью САПР

Задачи, возникающие при создании новых технических объектов, весьма разнообразны по своей сложности и способам решения. В соответствии с классификацией, предложенной В. М. Глушковым, их можно разделить на два больших класса: проблемные и не-проблемные. К неproblemным относятся задачи, в которых необходимо провести расчет с помощью отлаженной программы или отыскать нужную информацию (задачи включения алгоритма), либо составить и отладить программы для отработанного алгоритма (задачи программирования). Таким образом, решение неproblemных задач является в какой-то степени нетворческой работой.

Поскольку основная часть работ при проектировании технического объекта с помощью САПР производится с использованием уже имеющихся отлаженных программных средств, то очевидно, что большая часть задач, решаемых пользователем в САПР, будет принадлежать классу задач включения алгоритма. Задачи программирования, связанные с расширением возможностей САПР, достигаются путем включения в ее состав новых программных средств.

Для проблемных задач апробированный алгоритм решения неизвестен. При их решении приходится либо выбирать один из нескольких предположительно пригодных алгоритмов (задача поиска алгоритма), либо разрабатывать новый алгоритм с применением численного эксперимента (задача синтеза алгоритма).

Если у человека, решающего проблемную задачу, есть способ проверки получаемого результата, то такая задача называется хорошо определенной, в противном случае – плохо определенной.

По степени сложности для пользователя все классы задач, перечисленные выше, можно упорядочить следующим образом: задачи включения алгоритма, программирования, поиска алгоритма,

синтеза алгоритма. Наиболее простыми являются задачи включения алгоритма.

Структура процесса решения различных классов задач показана на рис. 4.1.

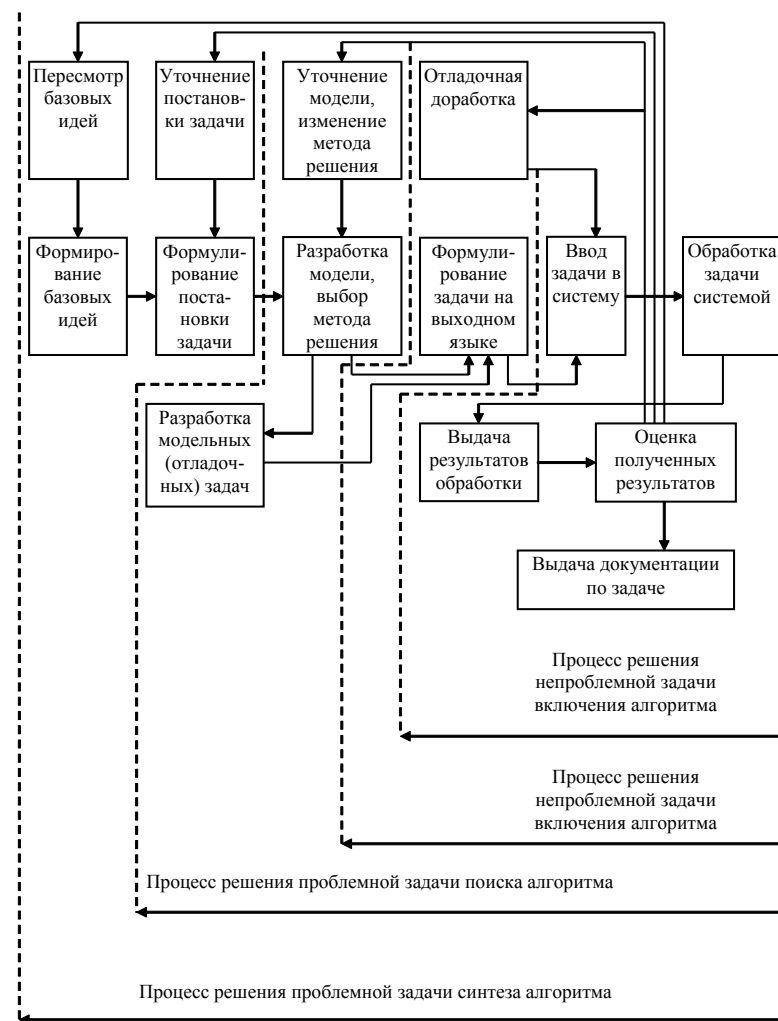


Рис. 4.1. Структура процесса решения задач различных классов

4.2. Общая структура программного обеспечения

Все средства, входящие в состав ПО САПР, можно разбить на две большие группы: стандартное и нестандартное ПО.

Стандартное ПО включает в себя программные средства, обеспечивающие функционирование комплекса технических средств (КТС) САПР, а также общее управление вычислительными процессами.

В состав стандартного ПО входят: операционные системы; системы программирования; комплексы программ диагностики и ТО для обеспечения эксплуатации КТС САПР; сервисные программы; а также могут входить некоторые виды пакетов программ общематематического характера.

К нестандартному ПО САПР относятся: пакеты программ, отражающие специфику проектируемых объектов; системы управления пакетами; средства реализации диалогового взаимодействия пользователя с пакетами программ.

4.3. Стандартное ПО

4.3.1. Операционные системы

Под операционной системой (ОС) понимается совокупность программ, управляющих ходом работы ПК, обеспечивающих взаимодействие между элементами нестандартного ПО и аппаратными (техническими) средствами, осуществляющих функции управления прохождением потока задач через вычислительную систему, а также обеспечивающих связь между машиной и оператором компьютера. Операционная система ПК является ядром ПО САПР, его центральным и связующим компонентом. Основные усилия при разработке ОС направлены на повышение пропускной способности вычислительной системы.

В зависимости от организации прохождения заданий через вычислительную систему можно выделить три уровня ОС: ОС для пакетной обработки заданий; ОС для пакетной обработки с мультипрограммированием и ОС для работы в режиме разделения времени.

4.3.2. Системы программирования

Системой программирования называется комплекс средств, обеспечивающих составление и отладку программ. Система программирования состоит из следующих элементов: языка программирования, транслятора, библиотек стандартных программ, отладочных средств.

Языком в программировании называется совокупность, состоящая из набора символов (алфавит языка) и правил (грамматика языка), устанавливающих способы объединения символов в осмысленные предложения и тексты (программы).

Транслятором называется программа, осуществляющая перевод текста (программы) с одного языка (входной язык транслятора) на другой (выходной язык транслятора).

4.4. Нестандартное ПО

4.4.1. Пакеты программ

Пакет программ (ПП), входящий в состав САПР, представляет собой комплекс программных средств, рассчитанных на решение некоторого однородного класса задач (например, пакет оптимизации, динамических расчетов приводов, трансмиссий и т. д.).

Существуют два основных вида пакета программ: ПП простой структуры и ПП сложной структуры.

4.4.2. Средства организации диалогового взаимодействия пользователя с пакетами программ

Диалоговая система должна выполнять следующие функции: оперативно выдавать пользователю необходимую информацию; воспринимать сообщения пользователя и выявлять смысл, содержащийся в этих сообщениях; передавать выявленный смысл соответствующим пакетам программ и передавать пользователю требования, исходящие от пакетов программ.

Диалоговые системы можно разделить на две большие группы: специализированные и многоцелевые. Специализированные диалоговые системы предназначены для реализации диалоговых процессов, ориентированных на решение определенных типов прикладных задач. Многоцелевые диалоговые системы ориентированы на реализацию нескольких разновидностей или видов диалоговых процессов.

Другим признаком, по которому можно классифицировать диалоговые системы, является вид языка, с помощью которого пользователь общается с системой. По этому признаку все диалоговые системы можно подразделить на три группы: системы с директивным входным языком; с входным языком типа алгоритмического языка и системы с входным языком, близким к естественному.

Следует отметить, что возможно существование не только перечисленных трех видов диалоговых систем в чистом виде, но и смешанных их вариантов (например, системы с входным языком типа алгоритмического языка с введенными в его состав директивами).

4.4.3. Управление пакетами программ

Основной функцией системы управления пакетами программ (СУ ПП) является обеспечение взаимодействия ПП со средствами стандартного ПО.

Можно выделить два основных вида СУ ПП: системы управления немодульными пакетами и системы управления модульными пакетами. Они существенно отличаются друг от друга алгоритмами функционирования. Кроме того, СУ ПП могут быть специализированными или многоцелевыми, причем последние более эффективны.

4.4.4. Вспомогательные средства нестандартного ПО САПР

В целях наиболее эффективного использования перечисленных выше средств нестандартного ПО применяется ряд вспомогательных (сервисных) средств, а именно: средства информационно-

го обслуживания пользователя (т. е. средства для записи, модификации и выдачи справочных данных, необходимых пользователю); средства обслуживания нестандартного ПО САПР (генерация требуемого конкретного варианта нестандартного ПО, внесение изменений в нестандартное ПО, получение копий его отдельных элементов и т. д.).

Глава 5. РЕАЛИЗАЦИЯ ДИАЛОГОВЫХ ПРОЦЕССОВ В САПР

Рассмотрим один из возможных подходов к реализации диалоговых процессов, основанный на использовании концепции информационной модели диалогового процесса. В соответствии с таким подходом реализация диалогового процесса производится в четыре этапа:

- 1) постановка задачи и анализ особенностей содержания реализуемого процесса;
- 2) построение информационной модели диалогового процесса;
- 3) программирование построенной информационной модели;
- 4) запись полученной программы диалогового процесса в библиотеку.

При указанном подходе воспроизведение диалогового процесса осуществляется путем интерпретации (исполнения) соответствующей ему программы с помощью специального комплекса средств из состава нестандартного ПО САПР – подсистемы реализации диалоговых процессов в САПР.

5.1. Концепция информационной модели в программах диалогового процесса

Понятие «информационная модель диалогового процесса», вводимое и рассматриваемое ниже, является центральным при построении процессов в САПР. Именно информационная модель дает возможность единообразным способом реализовывать различные виды диалоговых процессов в САПР, таких как запуск программы из библиотеки стандартных программ, запуск пакета программ (например, ПП оптимизации), составление программного модуля на одном из языков высокого уровня (фортран, паскаль и т. д.), формирование пакета программ из имеющихся программных мо-

дулей, вычислительный эксперимент (отработка в диалоговом режиме алгоритма решения какой-либо задачи), программированное обучение (например, обучение пользователя основам языков программирования, работе с отдельными подсистемами САПР, обучение по специальным дисциплинам (математика; ДВС, автомобили и тракторы; строительные машины и т. д.)).

5.1.1. Информационная модель диалогового процесса и ее построение

Концепция информационной модели диалогового процесса основывается на следующих простых соображениях: пусть G_i – набор всех сообщений, которыми пользователь и система обмениваются в ходе диалогового процесса D_i ; $i = 1, \dots, m$. Информационной моделью M_i процесса D_i будем называть объединение набора сообщений G_i с набором R_i их номеров, указывающих порядок следования сообщений в процессе D_i , т. е. $M_i(G_i, R_i)$.

Если рассмотреть все модели M_i , с которыми должна работать диалоговая система, то нетрудно обнаружить, что часть сообщений для них является общей, не зависящей от конкретного вида диалогового процесса. Эту общую часть набора сообщений целесообразно реализовать внутрисистемными средствами только один раз, чтобы программировать лишь переменную часть информационной модели.

Рассмотрим содержание этапов реализации диалогового процесса в САПР на примере диалогового решения задачи включения алгоритма.

Первым этапом является анализ особенностей и содержания реализуемого диалогового процесса. Точнее, анализу обычно подвергается не один конкретный процесс, а некоторый набор процессов, поскольку даже простую задачу можно решать, как правило, не единственным способом. Будем называть такой набор процессов классом родственных диалоговых процессов или, проще, классом процессов.

В ходе анализа особенностей и содержания реализуемого диалогового процесса необходимо выяснить его состав (перечень

содержания и порядок следования действий, из которых состоит процесс). Этот процесс можно представить в виде ориентированного графа, в котором каждому из действий соответствует одна вершина, а переходы от одного действия к другому изображаются с помощью дуг графа, соединяющих соответствующие вершины.

В рассматриваемом примере в библиотеке с именем MDS, находящейся на томе магнитных дисков REFLIB, имеется подпрограмма INTGTR, предназначенная для вычисления определенного интеграла $I = \int_a^b f(x) dx$ методом трапеций. Необходимо построить информационную модель диалогового процесса формирования задания для вычисления определенного интеграла с помощью подпрограммы INTGTR подынтегральной функции $f(x)$, задаваемой в виде формулы или списка формул.

При составлении и детализации последовательности действий должны быть учтены следующие соображения. Для вызова и запуска библиотечной программы INTGTR из библиотеки MDS прежде всего необходимо сформировать вызывающую программу, которая передаст в INTGTR значения нижнего (a) и верхнего (b) пределов интегрирования, а также значение параметра N , который будет использован в INTGTR для вычисления шага интегрирования в формуле $H = (b - a) / N$. Кроме того, вызывающая программа должна получить из INTGTR вычисленное значение интеграла и отпечатать на АЦПУ его значение вместе со значениями пределов интегрирования. Далее необходимо сформировать подпрограмму, вычисляющую значения подынтегральной функции $f(x)$ для любого допустимого значения аргумента x . Эта подпрограмма в соответствии с требованиями подпрограммы INTGTR должна иметь заголовок вида SUBROUTINE FUNCIN (X, Y), где X – значение аргумента x , а $Y = f(x)$. И наконец, необходимо сформировать совокупность операторов языка управления заданиями ОС ЕС, обеспечивающую работу программы и подпрограммы FUNCIN – объединение их вместе с подпрограммой INTGTR в единый загрузочный модуль, а также исполнение этого загрузочного модуля с выдачей результатов на АЦПУ.

Итак, укрупненно последовательность действий, входящих в рассматриваемый процесс, можно представить таким образом:

- 1) сформировать шапку задания на вычисление определенного интеграла с помощью библиотечной подпрограммы INTGTR;
- 2) сформировать вызывающую программу для обращения к подпрограмме INTGTR и передачи ей исходных данных;
- 3) сформировать подпрограмму, которая будет вычислять значения подынтегральной функции $f(x)$;
- 4) сформировать завершающую часть задания на вычисление определенного интеграла.

Определение совокупности действий при решении поставленной задачи составляет лишь первую часть работы, выполняемой при формировании информационной модели диалогового процесса. Вторая ее часть – определение информации, которой будут обмениваться пользователь и диалоговая система при реализации действий, выявленных выше. Будем различать четыре типа информационных сообщений:

- 1) сообщения $U_i, i = 1, 2, \dots, m$, передаваемые системой пользователю, на которые не требуется ответов со стороны последнего;
- 2) сообщения $T_j, j = 1, 2, \dots, n$, помещаемые системой непосредственно в формируемое задание без консультаций с пользователем;
- 3) сообщения $S_k, k = 1, 2, \dots, q$, выдаваемые системой пользователю и требующие ответов со стороны последнего;
- 4) сообщения $R_l, l = 1, 2, \dots, p$, представляющие собой ответы пользователя на сообщения системы типа S_k .

5.1.2. Композиционные информационные модели диалоговых процессов

В ряде случаев реализуемый класс диалоговых процессов может быть таким, что информационная модель для него будет громоздкой и неудобной для программирования. Тогда целесообразно разбить сложную модель на несколько более простых, разработать каждую в отдельности, а затем объединять в одну общую модель. С другой стороны, рассматривая большое число различных классов диалоговых

процессов, в них можно выявить общие элементы. В этом случае целесообразно построить модели для выявленных общих элементов лишь один раз, а затем пользоваться ими как стандартными компонентами.

Композиционная информационная модель θ – это объединение в определенной последовательности заданных фрагментов P_j простых информационных моделей $M_i, i = 1, 2, \dots, N$, т. е. $\theta = \Phi(P_i)$, где правило Φ определяет способ выделения фрагментов P_i из простых моделей M_i , а также задает порядок следования этих фрагментов. Допускается выделение нескольких фрагментов из одной модели M_i , причем эти фрагменты могут частично совпадать (перекрываться). Использование композиционных информационных моделей позволяет отдельно формировать модели для типовых или частично встречающихся элементов диалоговых процессов, разрабатывать и накапливать программы для реализации этих элементов. Наличие библиотеки программ элементов диалоговых процессов и возможность сформировать композиционные модели с использованием этих элементов позволяют быстро и просто строить новые модели диалоговых процессов и разрабатывать программы, их реализующие. Структура композиционных моделей отличается большим разнообразием.

5.1.3. Программирование диалоговых процессов

При решении этой задачи существует по крайней мере два подхода. Первый из них связан с построением специальных средств для каждой конкретной информационной модели (например, создание специализированной программы на языке паскаль, выполняющей все действия и выдающей все сообщения, предусмотренные данной конкретной информационной моделью). Такой подход позволяет обеспечивать диалог с помощью сравнительно простых средств, однако последние необходимо разрабатывать заново для каждого конкретного случая. Очевидно, что при большом числе видов диалоговых процессов, которые надо реализовать в САПР (например, каждый из многочисленных программ в нестандартном ПО САПР

характеризуется своим собственным процессом настройки и запуска), такой подход неэкономичен. При втором подходе к решению задачи каждая информационная модель описывается (программируется) на языке, специально предназначенном для этих целей. Полученная программа записывается в библиотеку программ диалоговых процессов. Из библиотеки программа может быть вызвана и подана на вход специальной системы обработки (интерпретации) таких программ. Используя эту программу, а также директивы и информацию от пользователя, данная система воспроизводит требуемый диалоговый процесс.

Для программирования информационных моделей диалоговых процессов был разработан специальный язык INF, содержащий в своем составе средства, позволяющие, во-первых, описывать отдельные элементы диалоговых процессов (например, различные варианты обмена информацией между пользователем и системой) а во-вторых – порядок следования этих элементов (например, организацию условных и безусловных переходов, циклов в диалоговом процессе). Кроме того, язык INF обладает и некоторыми сервисными средствами, например средствами разграничения доступа к отдельным программам диалоговых процессов, средствами управления режимом отображения информации на экране дисплея и т. д. Язык INF позволяет программировать как простые, так и композиционные модели диалоговых процессов.

Рекомендуемая литература

1. *Андреев Л. Н.* Системы автоматизированного проектирования [Текст] : учеб. пособие / Л. Н. Андреев, Д. Е. Бортяков, С. В. Мещеряков. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2002. – 78 с.
2. *Баловнев В. И.* Дорожно-строительные машины и комплексы [Текст] / В. И. Баловнев. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2001.
3. *Баловнев В. И.* Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов СДМ [Текст] / В. И. Баловнев. – М. : Машиностроение, 1994.
4. *Верлань А. Ф.* Интегральные уравнения: методы, алгоритмы программы [Текст] : справ. пособие / А. Ф. Верлань, В. С. Сизиков. – Киев : Наукова думка, 1986. – 544 с.
5. *Волков Д. П.* Машины для земляных работ [Текст] / Д. П. Волков. – М. : Машиностроение, 1992.
6. *Джонс Дж. К.* Методы проектирования [Текст] / Дж. К. Джонс ; пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М. : Мир, 1986. – 326 с.
7. *Добронравов С. С.* Строительные машины и основы автоматизации [Текст] / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов. – М. : Высшая школа, 2001.
8. *Системы автоматизированного проектирования* [Текст] : учеб. пособие для вузов ; в 9 кн. / И. П. Норенков. – Кн. 1. – Принципы построения и структура. – М. : Высшая школа, 1986. – 127 с.

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Общие сведения о проектировании технических объектов или систем	5
1.1. Жизненный цикл перспективной технической системы или технического объекта.....	5
1.2. Структура процесса проектирования технической системы.....	7
1.3. Моделирование процесса проектирования.....	9
1.4. Влияние автоматизации на процесс проектирования.....	11
Глава 2. Принципы построения математических моделей технических систем	12
2.1. Математические модели и их иерархические уровни.....	12
2.2. Математическое моделирование технических объектов на микроуровне.....	17
2.3. Моделирование на макроуровне.....	20
Глава 3. Принципы построения и структура САПР	24
3.1. Системные свойства и структура САПР.....	24
3.2. Последовательность разработки САПР.....	27
Глава 4. Структура программного обеспечения	30
4.1. Классификация научно-технических задач, решаемых с помощью САПР.....	30
4.2. Общая структура программного обеспечения.....	32
4.3. Стандартное ПО.....	32
4.4. Нестандартное ПО.....	33
Глава 5. Реализация диалоговых процессов в САПР	36
5.1. Концепция информационной модели в программах диалогового процесса.....	36
Рекомендуемая литература	42

Учебное издание

Евтюков Сергей Аркадьевич
Овчаров Алексей Александрович
Замаев Игорь Вячеславович

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ
И СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН**

Учебное пособие

Редактор О. Д. Камнева
Корректоры А. А. Стешко, М. А. Молчанова
Компьютерная верстка А. А. Стешко

Подписано к печати 28.04.11. Формат 60×84^{1/16}. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 2,6. Тираж 350 экз. Заказ 29. «С» 12.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 5