

2. Формализация процесса проектирования

2.1. Иерархия процесса проектирования

Исходным пунктом проектирования (в том числе автоматизированного) любого технического объекта является замысел. Проектирование связано с формированием, трансформированием и представлением в определенной форме образа данного объекта. Образ объекта (или его отдельных частей) может формироваться в результате мыслительного процесса в сознании человека или генерироваться по определенным алгоритмам при его взаимодействии с ЭВМ.

Замысел проектирования называют “моделью выхода”, являющейся описанием желательного результата (цели). Модель выхода можно представить в виде определенного набора условий: начальных, граничных и конечных. Начальные условия имеют констатирующий характер, а граничные и конечные — ограничительный. Все величины фигурирующие в начальных условиях называются параметрами начальных условий. Данные параметры могут быть детерминированными и случайными. Граничные условия служат для сужения области поиска возможных решений. Конечные условия представляют собой ограничения, где фигурируют допустимые значения ряда критериев: эффективности, которые должны быть не ниже заданного уровня; стоимости (материальных затрат), которые не должны превышать заданного значения; оптимальности, который должен быть максимальным или минимальным. Конечные условия являются по существу условиями оптимальности выбранного решения.

Все данные, приведенные в “модели выхода”, принимаются в качестве исходных и в процессе получения решения не корректируются. Таким образом, проектирование начинается при наличии задания на получение некоторого технического продукта. Задание представляется в виде определенных документов, являющихся исходным описанием объекта проектирования. Результатом проектирования является комплект документов, содержащих достаточные сведения для изготовления в заданных условиях объекта проектирования. Эти документы являются окончательным описанием объекта.

Трансформация исходного описания объекта в окончательное сопровождается появлением промежуточных описаний, называемых проектными решениями. Проектирование является сложным комплексным процессом. Например, с информационной точки зрения оно является процессом преобразования входной

информации об объекте проектирования в выходную информацию в виде проектно-конструкторской и технологической документации, содержащей описание объекта проектирования, необходимое для его материальной реализации. Проектирование с точки зрения теории принятия решений можно представить как процесс принятия определенных проектно-конструкторских решений. С точки зрения теории управления проектирование можно рассматривать как реализацию цикла управления, состоящего из операций синтеза, анализа, оценки и выработки управляющих воздействий.

Процесс проектирования строится по блочно-иерархическому принципу. Проектируемый объект (система) разделяется на иерархические уровни. На высшем уровне используется малодетализированное представление, которое отражает только общие признаки проектируемого объекта (системы). На последующих уровнях степень детализации возрастает. Проектируемую систему при этом рассматривают отдельными блоками. Этот подход позволяет ставить и решать задачи приемлемой сложности, которые легко понимаются человеком и могут быть решены имеющимися средствами проектирования. Таким образом, при блочно-иерархическом проектировании сложная проектная задача большой размерности разделяется на группы задач малой размерности. Эти группы задач решаются последовательно, однако разные задачи группы могут решаться параллельно. Каждый уровень предопределяет свои определенные представления о системе и ее элементах. Например, то, что на k -м более высоком уровне называлось элементом, на следующем ($k-1$) уровне приобретает характер системы. Элементы самого низкого уровня называют *базовыми элементами* или *компонентами*. В ряде случаев при проектировании сложных систем используются описания, в которых одновременно отражены два иерархических уровня k и $(k+1)$. В данном случае используют термины *система*, *подсистема* и *элементы*. Их относят соответственно к системе k -го уровня, системам и элементам $(k+1)$ -го уровня.

Иерархические уровни являются уровнями описаний объектов, отличающиеся степенью детализации отображения свойств объекта. Их называют *горизонтальными уровнями* или *уровнями абстрагирования*. Совокупность описаний некоторого уровня совместно с задачами и методами получения этих описаний называют *иерархическим уровнем проектирования*.

На горизонтальных уровнях имеются группы задач по проектированию схем, конструкций, технологических процессов. Эти задачи вместе с обеспечением их решения (моделями, методами, формами документации) называются *аспектами проектирования* или *вертикальными уровнями проектирования*.

Основными аспектами проектирования являются функциональный, конструкторский и технологический.

Функциональный аспект отображает принципы функционирования объекта, характер протекающих в нем физических и информационных процессов. Этот аспект отображается в принципиальных, функциональных, структурных, кинематических схемах и соответствующих документах, которые их сопровождают.

Конструкторский аспект реализует результаты функционального проектирования. Этот аспект определяет геометрические формы, размеры объектов, а также их взаимное расположение в пространстве.

Технологический аспект реализует результаты конструкторского проектирования, т.е. связан с описанием определенных методов и средств изготовления объектов, в частности с подготовкой УП для систем ЧПУ.

Свойства объекта, в общем случае, могут быть описаны и более дифференцированно с выделением в нем ряда подсистем и соответствующего числа аспектов. При этом внутри каждого аспекта возможно специфическое выделение иерархических уровней.

Процесс проектирования делят на стадии, этапы, проектные процедуры и операции. *Этап* проектирования — часть этого процесса, которая включает в себя формирование всех необходимых описаний объекта, относящихся к одному или нескольким иерархическим уровням или аспектам. Названия этапов могут совпадать с названиями соответствующих иерархических уровней и аспектов. Так, например, процесс проектирования технологии изготовления детали путем механической обработки заготовки разделяют на этапы разработки маршрутной, операционной технологии и УП для станков с ЧПУ.

Составными частями этапа проектирования являются проектные *процедуры*. Каждой такой процедуре соответствует какая-либо задача проектирования, которая решается в пределах данной процедуры. Выполнение процедуры заканчивается получением проектного решения. Примеры проектных процедур: выбор типовой детали для разработки технологического процесса ее изготовления; расчет допусков на составляющие звенья размерной цепи; оформление чертежа изделия и т.д.

Составными частями процедуры являются проектные *операции*. Например: решение системы алгебраических решений; вычерчивание типового графического изображения (резьбового соединения, зубчатого зацепления и т.д.).

Понятия уровня и аспекта относятся к структурированию представлений об объекте проектирования, а этапа — к структурированию собственно процесса проектирования.

2.2. Организация процесса проектирования

Содержание и сложность процессов проектирования в значительной мере отличаются друг от друга и зависят от конкретного

32 · Глава 2. Формализация процесса проектирования объекта, размеров и структуры проектирующей организации, вида проекта (проектирование на базе типовых решений или оригинального нового изделия).

Процесс проектирования может быть представлен моделью,

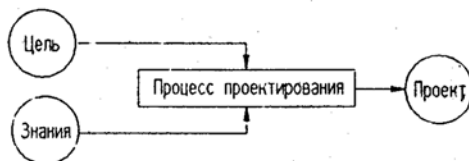


Рис.2.1. Схема модели проектирования

которая показывает организацию этого процесса и позволяет выделить его основные компоненты.

Разработчик САПР и ее пользователи должны иметь возможность согласовывать описание интерфейсов автоматизированных этапов проектирования с его остальными этапами. Такое описание возможно, при адекватном представлении проектирования последовательностью действий, когда результаты каждого предыдущего действия передаются для выполнения следующего действия.

На рис.2.1 показана схема упрощенной общей модели процесса проектирования. Эта модель предполагает: неизменность цели проектирования (в течение какого-либо времени); наличие знания технологии определенного типа; проектирование порождает проект в виде информации, которая может быть документирована каким-либо способом и использована для производства.

На рис.2.2 представлена схема детализованной модели процесса проектирования. Проектирование начинается с передачи проектировщику *спецификации* проекта, т.е. первичное задание на последний. При разработке проекта должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие коррекцию спецификаций, обусловленных влиянием внешних и внутренних воздействий. Для обеспечения корректирующих мер модель процесса проектирования должна иметь возможность представления промежуточных результатов проектирования для этапов, обладающих более высоким уровнем в общем процессе.

На начальной ситуации проектирования принимаются решения, в основе которых лежат эвристические соображения с учетом неполных знаний об их влиянии на обеспечение конечной цели. Эту часть процесса проектирования называют синтезом. На окончательной стадии проект следует анализировать и оценивать по спецификации.

Проектирование является циклом управления. Во внутреннем цикле управления под проектными описаниями осуществляются

Организация процесса проектирования

33

операции синтеза, анализа и оценки. Данные об отклонении предварительного проекта от спецификаций передается к операции синтеза. Внешний цикл управления замыкается не внутри собственно процесса проектирования, а только в процессе высшего уровня. Проектные спецификации, таким образом, отражают все изменения цели проектирования.

Проектирование сложного объекта представляет собой иерархическую совокупность процессов проектирования отдельных компонентов и выполняется в определенной среде. Последняя включает проектировщика, совокупность вычислительных средств и компонентов обеспечения.

Любой процесс проектирования может устанавливать логиче-

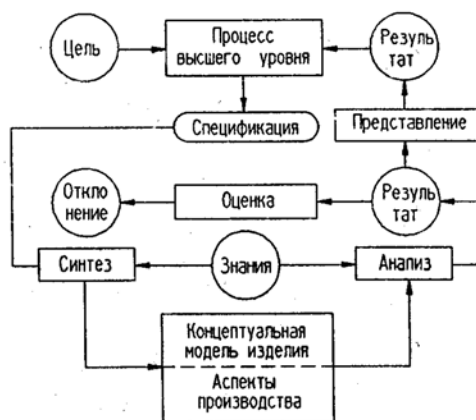


Рис.2.2. Схема подробной модели проектирования

скую связь с любым процессом среды проектирования и запрашивать разработку нового подчиненного процесса (рис.2.3). Соединительная линия «процесс среды — процесс проектирования» означает отношение «принадлежит к». Сетевую модель процессов с ее структурными уровнями можно представить графической схемой (рис.2.4).

Например, процесс проектирования Π_{i-1}^{k-1} создает два разнотипных подпроцесса Π_{i-1}^k и Π_i^k для выполнения работ для данного процесса. Одновременно параллельно с указанным процессом в той же общей среде проектирования реализуется процесс Π_i^{k+1} . В данном случае для общих процессов $(k+1)$ -го уровня требуются подпроцессы уровня $(k-1)$ и аналогичного типа, а именно типа, обеспечиваемого процессом среды Π_{i-1}^k .

Таким образом, процесс k -го уровня Π_i^k-1 не информирован о наличии другого процесса Π_i^k , их подпроцессы могут противоречить друг другу из-за ресурсов, нужных для $(k-1)$ -го уровня. Эта

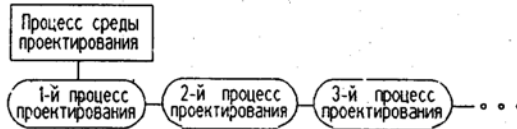


Рис.2.3. Модель среды проектирования

ситуация может быть разрешена процессом ПС_n^k-1 .

Рассмотрим, как процесс Π_i^k-1 может создать подпроцесс Π_i^{k+1} . Процесс Π_i^k+1 должен был бы направить соответствующий запрос процессу Π_i^{k+1} или своей среде ПС_j^{k+1} . Если последние не могут удовлетворить запрос из-за отсутствия информации о наличии среды ПС_n^k , то запрос должен был бы сначала передан

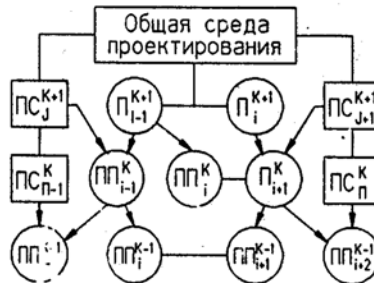


Рис.2.4. Сетевая модель процесса проектирования

вверх по иерархии уровней процессов до достижения процесса, к которому принадлежит ПС_n^k и Π_i^k+1 . Однако такая организация может снизить эффективность всех процессов проектирования. Поэтому отдельным процессом проектирования обеспечивается доступ к знаниям о процессах среды того же уровня. Процесс Π_i^k+1 имеет информацию о существовании процесса среды ПС_n^k и

его потенциальных возможностях, что позволяет прямое адресование запроса о создании подпроцесса Π_{k+1}^i . Такая информация заложена в процессы в момент их создания. Данная модель

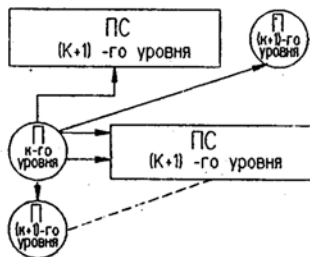


Рис.2.5. Схема модели элементарного блока

дает возможность рассматривать какой-либо отдельный процесс проектирования и его интерфейсы без совместного рассмотрения всех процессов.

Модель блока для создания малых и больших сетей процессов проектирования показаны на рис.2.5.

2.3. Схема процесса проектирования

Процесс проектирования посредством САПР считается полностью определенным, если заданы все возможные альтернативы последовательности проектных процедур. САПР должны обладать способностью развертывания заданной методологии в виде линейной последовательности процедур.

Последовательность действий при проектировании может быть представлена в виде общей операторно-информационной схемы:

$$I_n^0, (i:=1), \downarrow^1 P_c, I_{k,c}, P_{ш}^1, I_{ш}^1, P_m^1, I_n^1 (i:=i+1) \uparrow^1,$$

где I — информационные множества; P — преобразования в процессе выполнения проектирования.

Процесс проектирования, таким образом, представляет циклическую процедуру и отражает концептуальную модель определенного вида. Модель основана на понятиях подпроекта и его шаблона.

Шаблоном подпроекта называют совокупность вопросов, которые требуют ответа на данном шаге проектирования. Подпроектом называют совокупность ответов на указанные вопросы. Таким образом, подпроект представляет собой результат решения какой-либо частной задачи проектирования.

Проект является результатом выполнения определенной стадии проектирования. Он представляет собой совокупность ин-

формации, достаточной для выполнения следующей стадии проектирования и изготовления технического образца. Проект включает сведения, взятые из подпроектов, входящих в данную стадию.

Формирование подпроекта на основе заданного шаблона выполняется посредством методики R_M при заданном шаблоне в зависимости от выбранных условий (критерии, ограничения, метод принятия решений), обеспечивает получение инвариантных подпроектов. Шаблон задают таким образом, чтобы существовала методика R_M , необходимая для его разрешения.

После формирования очередного подпроекта часть последнего поступает в проект. Подпроект кроме этого служит основой для разработки очередного шаблона посредством методологической операции $R_{ш}$. В общем случае формализации $R_{ш}$ не существует. Основой построения методологических операций является выбранная методология проектирования, которая представляет собой совокупность сведений, методов, взаимосвязанную последовательность машинных и "человеческих" процедур. Методологическая операция $R_{ш}$ должна обеспечивать создание разрешимого шаблона, т.е. такого, для которого имеется методика R_M . Это требование обуславливает использование в методологии таких приемов как итерация, декомпозиция, отсеивание факторов, агрегатирование характеристик. Итогом процесса проектирования является проект.

Процесс проектирования может быть представлен технологической схемой (деревом). Последняя включает в свой состав как методологические вопросы проектирования, так и методики решения частных задач проектирования (рис.2.6). На рисунке символами $I_{ш}$ и $I_{п}$ обозначены информационные множества соответственно о шаблоне и подпроекте.

Из схемы следует, что для различных $I_{п}$ могут быть созданы одинаковые шаблоны $R_{ш}$, что позволяет свернуть технологическую схему и выявить в методологии $R_{ш}$ ряд отдельных действий R_c , связанных с распознаванием ситуации, появившейся после создания проекта. Для каждого класса состояний $I_{к.с}$ используется своя методологическая операция. Определение класса $I_{к.с}$, т.е. процедуры распознавания ситуации обозначена R_c . После применения операции R_c дерево проектирования (см. рис.2.6) существенно свертывается.

Таким образом, последовательность действий при проектировании определяется исходным информационным множеством о проекте, а также циклом проектирования, который состоит из распознавания ситуации R_c , построения шаблона проекта $R_{ш}$ и решения частной задачи проектирования по методике R_M . Цикл заканчивается созданием подпроекта, часть которого помещается в проект.

Методику R_M задают в виде структурной схемы человеко-машинных процедур, на которой указывают процедуры реализуе-

Схема процесса проектирования

мые ЭВМ и неформальные процедуры, выполняемые проектировщиком и указанием типа информационного взаимодействия указанных процедур. На структурной схеме отмечают массивы данных и информационные связи, указывают направления движения информационных потоков. Этап проектирования определяет уровень описания структурной схемы. На начальных стадиях проектирования — это программные комплексы, на последующих — проблемные программы, альтернативы программы, альтернативы диалоговых ответов. На этапе проектирования вычислительного процесса для заданной методики прибавляются программы операционной и диалоговой систем. Структурная схема обладает информативностью достаточной для построения функциональных схем, графа диалога, информационной структурной схемы, типа и состава информационных кадров сценария методики.

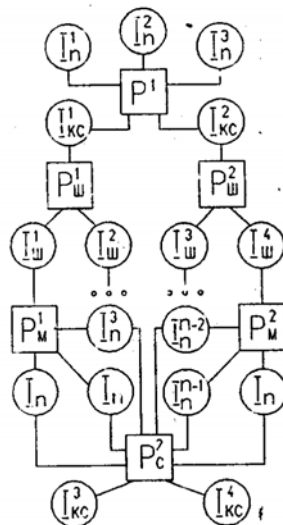


Рис. 2.6. Пример технологической схемы проектирования

Таким образом, САПР построенная согласно изложенным организационным принципам должна иметь:

- 1) средства анализа;
- 2) способы или рекомендации выполнения проектных преобразований;
- 3) пакеты программ, реализующих методики решения различных частных задач проектирования;
- 4) сценарий общей технологической (операторно-информационной) схемы проектирования;
- 5) банк данных для работы с базами подпроектов, исходных и нормативно-справочных данных, сценариев отдельных частных задач проектирования;
- 6) диалоговую систему организации общего сценария проектирования и сценариев частных проектных задач;
- 7) монитор организации параллельных процессов проектирования;
- 8) базу данных проектов.

Одной из основных проблем организации процесса проектирования является декомпозиция исходной задачи на совокупность частных задач проектирования. В основе декомпозиции лежит представление проектирования как многоуровневого процесса принятия решений по отдельным компонентам системы. Для этого необходимо:

1) построить граф, вершины которого отображают формирование и анализ решений по отдельным компонентам системы, а дуги — информацию и последовательность развития общесистемного проектирования во времени;

2) сформулировать задачи принятия решения по отдельным компонентам системы, в том числе выявить частные цели и условия, позволяющие согласовать постановки задач (проход по графу “сверху вниз”);

3) решить указанные задачи (проход по графу “снизу вверх”).

На рис.2.7 показан граф общесистемного проектирования на

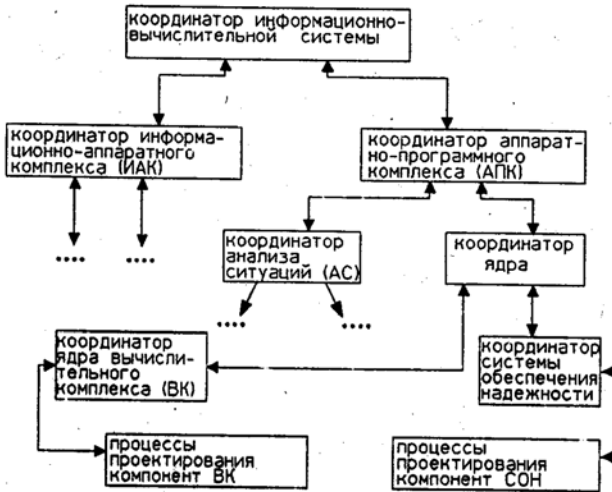


Рис.2.7. Граф общесистемного проектирования ИВС

примере централизованных информационно-вычислительных систем. Граф служит основой технологической схемы проектирования. Итерационный характер решения задач декомпозиции процессов проектирования предполагает в общем случае многократное сканирование по графу. Функции каждого координатора задач проектирования компонент реализуются совместно машинными процедурами и проектировщиком. Уровень иерархии координатора определяет его возможности при разрешении ситуаций. Чем выше этот уровень, тем более неформальные и сложные ситуации разрешаются координатором. САПР обеспечивает необходимую степень полноты анализа возникающих ситуаций.

Проектирование аппаратно-программного комплекса ИВС 39

2.4. Проектирование аппаратно-программного комплекса ИВС

Методическая схема общесистемного проектирования аппаратно-программного комплекса информационно-вычислительной системы (ИВС) представляет собой алгоритм проектирования. Схема служит для организации автоматизированного проектирования аппаратно-программного комплекса. Алгоритм разработывают на основе предварительного анализа аппаратно-программного комплекса с целью отбора ограниченного количества базовых проектных процедур. Уровень проектирования, для которого предназначен алгоритм, определяет степень его детализации. Методологическая схема обладает тремя уровнями детализации.

Первый уровень отображает основные этапы процесса проектирования аппаратно-программного комплекса и его содержание. Алгоритм этого уровня включает в себя блоки и связи между ними, представляющие структуру проектируемой системы, разделение ее на подсистемы обеспечения и упорядоченную последовательность проектных процедур, которые нужно разрешить в данном блоке. Этим блокам соответствуют определенные предметные области человеко-машинного диалога в САПР.

Второй уровень раскрывает содержание проектных процедур первого уровня для каждого из блоков. Для этого определяют: состав вопросов, необходимых для рассмотрения при решении каждой проектной задачи; последовательность выполнения и условия перехода от одной проектной процедуры к другой; альтернативные пути развития процесса проектирования.

Третий уровень является подробным человеко-машинным сценарием процесса общесистемного проектирования. Данный уровень служит основой для создания алгоритмов диалога для различных предметных областей общесистемного проектирования.

К общим принципам построения технологических схем проектирования относятся:

- 1) иерархическая структура описания схемы; 2) нерегламентированность количества уровней описания; 3) необходимость описания нижнего уровня со степенью детализации, достаточной для синтеза такого сценария диалога, где машинные процедуры выполняются ЭВМ, а неформализуемые — проектировщиком.

2.5. Системотехническая деятельность при создании САПР

САПР (изделия, проектируемые с ее помощью) являются сложными техническими системами, состоящими из разнород-

ных, но взаимосвязанных компонентов. Высокие эффективность и качество системы обеспечиваются правильной организацией деятельности по решению системотехнических задач, возникающих при проектировании.

При разработке САПР в зависимости от стадии жизненного цикла и объекта исследования используются различные виды системотехнической деятельности, направленные на создание методологии и организацию процесса проектирования САПР; получение оптимальных решений в отдельной подсистеме, обеспечение компонента САПР; обеспечение разработки САПР с заданным уровнем эффективности и качества.

Результатом проектирования сложной технической системы является ее согласованный проект, который должен обеспечивать работоспособность и требуемый уровень эффективности и качества функционирования системы.

Работоспособность сложной технической системы заключается в совместимости составляющих ее подсистем с надсистемой, в которую будет она включена, а также функциональности, т.е. в способности технической системы выполнять функции, сформулированные во время предпроектных исследований и зафиксированные в техническом задании. Совместимость обеспечивается путем применения типовых совместимых средств, на основе которых создаются подсистемы, и формирования системных требований, которым должны отвечать разрабатываемые компоненты.

Качество функционирования представляет собой совокупность свойств предопределяющих достижение требуемого результата в определенных условиях функционирования.

Эффективность сложной технической системы определяется путем сравнения результатов от ее функционирования и затрат всех ресурсов на ее создание и эксплуатацию. Указанная эффективность характеризуется обобщенным критерием, который определяют на множестве частных критериев эффективности, каждый из которых описывает одно из свойств системы и может быть оценен. Эффективность обеспечивается за счет правильного выбора критериев оценки проектных решений, использования моделей для оценки последних, генерации возможно большего числа вариантов построения компонент системы и выбора оптимальных решений по построению самой системы. Данные задачи относятся к области системотехнической деятельности.

Структура процесса проектирования сложной технической системы определяется структурой объекта проектирования. Реализация процесса проектирования осуществляется одной или несколькими проектными организациями. Проектная организация сама является сложной системой. Ее по отношению к проектируемой сложной технической системе называют метасистемой. В функции метасистемы входит обеспечение всего жизненного цикла сложной технической системы, собственно ее проектиро-

Системотехническая деятельность при создании САПР 41

вание, изготовление, настройку, эксплуатацию, развитие, модернизацию.

Нормальное функционирование метасистемы обеспечивается на основе решения двух комплексных задач:

1. Представление результатов предшествующих этапов проектирования, выполненных другими проектировщиками, в виде, обеспечивающим дальнейшее проектирование.

2. Обеспечение взаимодействия коллективов разработчиков для создания единого согласованного проекта.

Если процесс проектирования сложной технической системы имеет иерархическую структуру, отражающую иерархическую структуру этой системы, то каждый фрагмент проектирования, соответствующий вершине любого уровня, за исключением последнего, можно представить как общую задачу проектирования, разделяющуюся на ряд частных задач проектирования. Последние соответствуют вершинам дерева процесса проектирования, расположенным на нижнем уровне и смежным с вершиной, которая соответствует общей задаче проектирования. Обеспечение взаимодействия коллективов проектировщиков, работающих над частными задачами проектирования, выполняет системотехник за счет координации последних между собой и с общей задачей проектирования. Координация состоит в согласовании декомпозиции общей задачи проектирования на частные и дальнейшем увязывании результатов их решения с целью обеспечения эффективности решения общей задачи. Особое внимание уделяют координации задач внешнего и внутреннего проектирования системы. В задачах внешнего проектирования создается исходный вариант технического задания на проектирование, а в задачах внутреннего проектирования реализуется его выполнение. Оценка реализуемости технического задания, разработка рекомендаций по его корректировке и сама корректировка относится к координации указанных проектных задач.

Сложность создаваемой технической системы обуславливает длительность срока ее разработки (обычно 3 - 5 лет). Это время соизмеримо с временем развития подсистемы, метасистемы и морального старения элементной базы, используемой в качестве готовых компонентов при создании системы и в итоге с ее жизненным циклом. Поэтому актуальной проблемой является сокращение сроков проектирования.

Существуют следующие пути сокращения сроков проектирования сложной технической системы:

1. Выполнение предварительного анализа реализуемости технического задания на проектирование. Анализ осуществляется на основе упрощенных моделей, обеспечивающих переход от технических требований к параметрам системы и техническим требованиям к параметрам ее подсистем. Реализуемость последних оценивают экспертным путем. Сокращение времени проектирования путем оценки реализуемости технического задания

Глава 2. Формализация процесса проектирования
обеспечивается за счет исключения работ по поиску проектных решений, удовлетворяющим нереализуемым техническим требованиям.

2. Унификация (типизация) процесса проектирования, проектных процедур, решений, рациональная организация проектирования. Правила и области применения данных типовых средств определяются ведущей организацией отрасли, осуществляющей единую техническую политику по созданию сложных технических систем в последний. В этой организации выделяется специальное подразделение, на которое возлагаются функции гиперсистемотехника. Таким образом, это подразделение занимается системотехнической деятельностью применительно на конкретной технической системе, а к некоторому классу систем, характерному для данной отрасли. Ведущая организация разрабатывает типовой технологический процесс проектирования сложной технической системы. Этот процесс определяет содержание и порядок выполнения работ по разработке некоторого вида системы. Типовой процесс учитывает организационные особенности разработки, применяемые методы и инструментальные средства, но не учитывает особенности конкретного объекта проектирования. В этом процессе используются типовые проектные процедуры и решения, указываются системотехнические задачи.

3. Одновременное решение нескольких частных задач проектирования. Такая возможность обусловлена иерархической структурой объекта проектирования. Однако увеличение числа параллельно решаемых задач приводит к росту затрат времени на проектирование. Структура процесса проектирования определяет иерархическую структуру системного подразделения, выполняющего разработку конкретной технической системы. В рамках этой системы системотехническую деятельность осуществляет суперсистемотехник, который контактирует с системотехниками, выполняющими аналогичные функции в пределах подсистем.

4. Поэтапный ввод сложной технической системы в эксплуатацию. Такой ввод дает возможность ускорить получение определенной части результатов запланированных от введения системы в эксплуатацию; оценить правильность основы проекта; оперативно выполнить корректировку функций и элементной базы системы с целью ее проведения в соответствие с развитием подсистемы.

Сложная техническая система должна обладать определенной гибкостью, т.е. способностью адаптироваться к изменениям внешней среды (надсистемы и метасистемы). Гибкость системы по отношению к подсистеме обеспечивается за счет возможности настройки системы на условия функционирования. По отношению к метасистеме гибкость подразумевает взаимозаменяемость компонент системы при их модернизации.

2.6. Типы проектирования САПР

САПР разрабатывают на основе индивидуального и типового проектирования.

Индивидуальный способ проектирования применяется только крупными отраслевыми проектными организациями, которые обладают достаточно машинными ресурсами, обеспечивающими самостоятельное создание САПР. Эффективной областью использования данного метода является разработка САПР, ориентированных на конструирование наиболее распространенных классов изделий, или САПР уникальных изделий, которые не поддаются проектированию имеющимися средствами.

Проектировщик при индивидуальном проектировании ПТК САПР комбинирует любые, имеющиеся в его распоряжении технические средства и общесистемное ПО для обоснованного выбора варианта ПТК, отвечающего требованиям на проектируемую систему. При необходимости разрабатываются специальные технические средства и программы. Индивидуальное проектирование служит основой для типового проектирования.

Типовое проектирование заключается в том, что проектировщик выбирает типовую САПР, которая наиболее подходит для выполнения проекта и модернизирует ее для решения собственных проектных задач путем незначительного изменения состава технических средств и базового ПО. При этом проектировщик, используя ПТК на базе типовой САПР, гарантирован от грубых ошибок. Однако, вероятность получения оптимальной системы, как в случае индивидуального проектирования, незначительна. Типовое проектирование вследствие этого используют для разработки САПР, изготовляемых в ограниченном количестве экземпляров. Это обусловлено тем, что дополнительные затраты ресурсов на создание оптимальной структуры ПТК могут не только не окупиться, но и быть бесполезными. Последнее объясняет тем, что при удлинении сроков создания САПР к моменту ее готовности могут существенно измениться функциональные задачи системы. Вследствие этого к основным целям типового проектирования следует отнести обеспечение адаптивности САПР к прогнозируемым изменениям условий работы и уменьшения сроков и стоимости проектирования.

2.7. Математическое моделирование

Как было отмечено ранее, в основе любой САПР лежит скрытое от пользователя математическое обеспечение (МО). Свойства МО проявляются посредством программного, информационного и лингвистического обеспечений, функционирующих на базе технического обеспечения, т.е. ЭВМ.

МО представляет собой математические модели объектов проектирования, методы и алгоритмы выполнения проектных опера-

Глава 2. Формализация процесса проектирования
ций и процедур (напомним, что под объектом проектирования в САПР подразумеваются изделия, технологические процессы и организационно-технические системы).

Математическая модель (ММ) — это система математических соотношений, описывающая объект и его поведение в заданных условиях. ММ свойственно упрощенное отражение действительности, которое является вынужденным компромиссом между сложностью реальных объектов и необходимостью использования главных факторов, влияющих на решение задачи. Модель, с помощью которой успешно достигается поставленная цель (исследование поведения объекта) называется адекватной. Адекватность означает, что требования полноты, точности и истинности выполняются не вообще, а лишь в той мере, которая достаточна для достижения цели.

Важным преимуществом ММ является возможность исследования поведения объектов с помощью математических методов еще на стадии проектирования — с целью выбора наилучших, так называемых оптимальных функциональных характеристик (размеров детали) или структур (процессов обработки, обеспечивающих заданную точность размеров детали).

Математическое моделирование, конечно, применялось и до появления ЭВМ и САПР. Однако ЭВМ позволили расширить области применения моделирования, удешевить и ускорить процесс отработки объектов проектирования, а также повысить качество проектирования.

Важное преимущество моделирования в составе САПР состоит и в том, что пользователю нет необходимости каждый раз создавать ММ заново: они либо формализованы и содержатся в БД в виде некоторых стандартных процедур, либо создаются системой на основе введенного пользователем описания проектируемого объекта.

Таким образом, САПР снимает с пользователя трудоемкие задачи: создания ММ, описания их программной реализации на ЭВМ. Причем, чем выше “интеллект” САПР, тем проще и нагляднее это происходит. Основой этой простоты взаимодействия с системой является программное и информационное обеспечение, а внешне эта простота проявляется посредством соответствующего лингвистического обеспечения.

2.8. Виды математических моделей

Модели по характеру отображаемых свойств объекта делят на функциональные, структурные и имитационные.

Функциональные модели отображают процесс функционирования объекта и имеют форму систем уравнений. Функциональные модели зачастую представляют сложную, иногда — иерархическую систему, составными частями которой являются формулы, неравенства и т.п. Такие модели могут включать в

Виды математических моделей

45

себя три уровня описания: теоретико-множественный (методы теории множеств и теории графов); логический (методы математической логики) и количественный. При этом количественные величины в своем действительном значении рассматриваются только на количественном уровне; на логическом уровне эти величины рассматриваются как логические переменные, и на теоретико-множественном уровне — как элементы множества величин, входящих в данную формулу, в набор формул и т.п.

Например, множество параметров, влияющих на выбор скорости резания при различных видах обработки, можно представить как множество

$$M_V \{ c_v, k_v, T_n, m, t_{\text{усл}}, S, d, B, x_v, y_v, z_v, \gamma_v \}$$

где c_v — коэффициент, характеризующий условия обработки; k_v — поправочный коэффициент на скорость резания; T_n — стойкость инструмента; m — показатель относительной стойкости инструмента; d — диаметр обработки или диаметр инструмента; S — подача; z — число зубьев; B — ширина фрезерования; x_v, y_v, z_v, γ_v — показатели степени.

Анализ причинно-следственных связей между факторами M_V показывает, что логические отношения между ними и скоростью резания V имеют вид

$$V = c_v \wedge k_v \wedge T_n \wedge m \wedge [(t_{\text{усл}} \wedge x_v) \vee (S \wedge y_v) \vee (d \wedge z_v) \vee (B \wedge \gamma_v)]$$

причем c_v, k_v, T_n и m всегда истинны, а истинностные значения других переменных зависят от вида обработки. Здесь использованы связки “и” и “или”, обозначенные соответственно \wedge и \vee ; высказывания типа $A \wedge B$ — конъюнкция и $A \vee B$ — дизъюнкция.

Поскольку обобщенная формула количественных отношений между факторами M_V имеет вид:

$$V = \frac{c_v k_v d^{z_v}}{T_n^m t_{\text{усл}}^{x_v} S^{y_v} B^{\gamma_v}}$$

то, например, при сверлении формула количественных отношений между факторами, с учетом их истинностных логических значений, имеет вид:

$$V = \frac{c_v k_v d^{z_v}}{T_n^m S^{y_v}}$$

Таким образом, приведенные формулы представляют модели расчета скорости резания на трех различных уровнях абстрагирования.

Структурные модели позволяют абстрагироваться от содержательной стороны задачи, сводя ее к анализу геометрической структуры. Для представления структуры объектов в ходе

их моделирования часто используют графы. Графом называется геометрическое построение в виде совокупности вершин и связывающих их ребер. Расположение вершин, форма и длина ребер — произвольные, т.е. изображение графа дает представление только о том, какие элементы-вершины его составляют и между какими элементами установлены отношения-ребра. Ребра графа могут быть ориентированными (тогда их показывают односторонними стрелками) или неориентированными (без стрелок). Две вершины, соединенные ребром, как и два ребра, имеющих общую вершину, считаются смежными. Последовательность смежных ребер называется путем. Путь, у которого начальная вершина является и концом пути, называется контуром.

Особое значение имеет граф типа “дерево”. Дерево — это граф без контуров, у которого между любой парой вершин существует только один путь. Заметим, что при создании САПР часто используются графы типа “дерево”, например, для отображения различных структур: классификации поверхностей, иерархии изделия и др.

В технологии машиностроения использование графов (начиная с Б.С. Мордвинова) для размерного анализа проектируемого технологического процесса позволяет выявить технологические размерные цепи (РЦ), их взаимосвязь, формализовать правила расчета размеров, припусков и допусков, а также анализ вариантов базирования и даже порядка обработки поверхностей. Применение графовых структур привело к созданию автоматизированных систем решения технологических РЦ.

Рассмотрим построение графовой модели технологических РЦ. Допустим (рис.2.8), первоначально известна структура ТП обработки детали. На эскизах приведены заданные размеры чертежа P_i и неизвестные технологические размеры A_i , которые предстоит рассчитать. Далее (рис.2.9) технологические размеры и припуски указываются между пронумерованными промежуточными поверхностями, образующимися при обработке заготовки; и, наконец, строится граф (см. рис.2.9), вершинами которого являются промежуточные поверхности, а ребрами — конструкторские, технологические размеры и припуски. С помощью графа легко выявляются все РЦ как контуры с единственным замыкающим звеном.

Обратим внимание на то, что формирование РЦ непосредственно по графу доступно только человеку. В случае использования ЭВМ граф становится информационной моделью, которую, во-первых, следует сначала преобразовать в удобную для ЭВМ матричную форму; а во-вторых, дополнить методами и алгоритмами, способными заменить неформальные действия человека. Рис.2.10 иллюстрирует внутреннее представление информации (содержание файла), отражающей графовую модель на рис.2.9.

Имитационные модели. Для оценки характеристик сложных систем широко используются имитационные модели (ИМ).

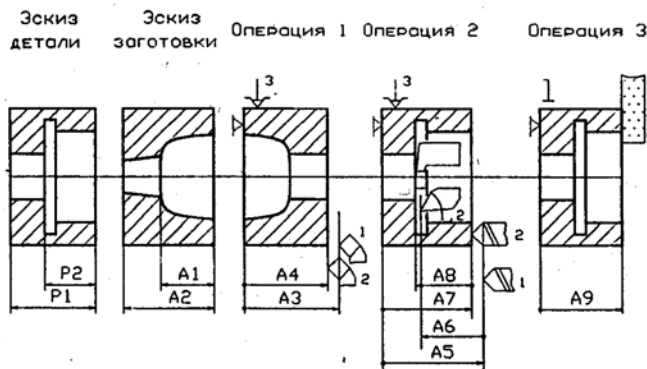


Рис. 2.8. Операционные эскизы обработки втулки

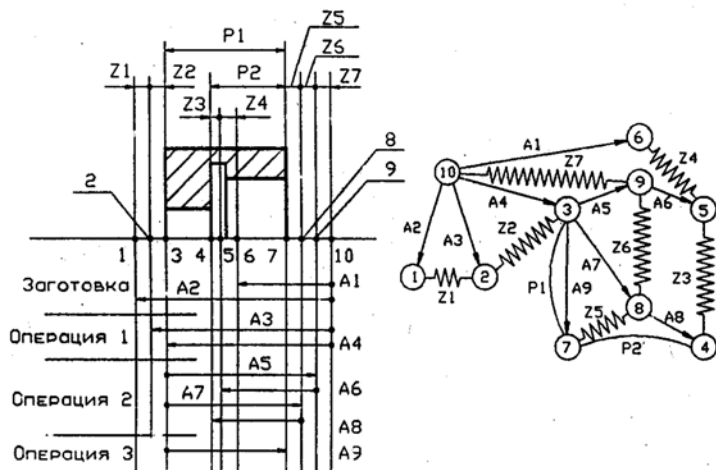


Рис. 2.9. Размерная схема и граф РЦ

В ИМ поведение сложной технической системы описывается определенным набором алгоритмов, служащих для последующей реализации ситуаций, возникающих в реальной системе. Моделирующие алгоритмы позволяют по исходным данным, которые содержат сведения о начальном состоянии системы, и фактическим значениям ее параметров отобразить реальные явления, происходящие в системе и получить информацию о возможном

поведении системы для данной конкретной ситуации. Проектировщик на основании этой информации может принять соответствующие решения. Однако, предсказательные возможности имитационного моделирования ниже чем у аналитических моделей.

Использование ИМ сложной технической системы при решении задач возможно в следующих случаях: 1) когда не существует законченной постановки задачи исследования и выполняется процесс познания объекта моделирования, тогда ИМ является средством изучения явления; 2) когда имеются аналитические методы, но математические процедуры настолько трудоемки и

КОМ7: РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, ЯРПИ, Калачев-94

Текст пользователя Иванов И.И. МПМ-56

Код материала заготовки 1
 Метод получения заготовки 2
 Способ резки проката 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 09
 Наибольший габаритный размер ... 40.000

1	3	7	40.000	39.954	6	10	22	0	40.000	.000	.000
2	4	7	25.250	24.740	10	1	22	1	40.000	.000	.000
3	1	2	.000	.000	10	2	71	1	40.000	.000	.000
4	2	3	.000	.000	10	3	71	1	40.000	.000	.000
5	4	5	.250	.000	3	9	72	1	40.000	.000	.000
6	5	6	.000	.000	9	5	72	0	40.000	.000	.000
7	7	8	.000	.000	3	8	74	1	40.000	.000	.000
8	8	9	.000	.000	8	4	74	0	40.000	.000	.000
9	9	10	.000	.000	3	7	112	1	40.000	.000	.000

Рис.2.10. Внутреннее представление графовой структуры

сложны, что имитационное моделирование обеспечивает более простое решение задачи; 3) когда кроме оценки влияния параметров сложной технической системы необходимо определить поведение ее компонент в течение заданного периода времени; 4) когда имитационное моделирование является единственным способом исследования системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях; 5) когда необходимо контролировать протекание процессов в сложной технической системе за счет ускорения или замедления явлений в ходе имитации; 6) при освоении новой техники и подготовке специалистов, когда ИМ дает возможность получения необходимых навыков в эксплуатации новой техники; 7) при изучении новых малоизвестных или неизвестных ситуаций в системе; 8) когда особое значе-

Типовые решения при проектировании механообработки 49
ние приобретает последовательность событий в проектируемой сложной технической системе и ИМ используется для предсказания узких мест в функционировании системы и других трудностей, которые появляются в поведении системы при введении в нее новых компонент.

Имитационное моделирование широко используется при решении задач синтеза и анализа сложных технических систем. Этот метод имеет следующие достоинства: возможность описания поведения компонент системы на высоком уровне детализации; отсутствие каких-либо ограничений на вид зависимостей между параметрами ИМ и состоянием внешней среды системы; возможность исследования динамики системы.

Однако имитационное моделирование обладает рядом недостатков; создание ИМ часто стоит дороже разработки аналитической модели и требует больших затрат времени; ИМ не в состоянии точно отражать процессы, которые происходят в сложных технических системах.

Имитация является численным методом выполнения на ЭВМ экспериментов с математическими моделями, которые описывают поведение сложной технической системы в течение заданного или формируемого периода времени. Чаще всего поведение компонент системы и их взаимодействие в ИМ описывается определенным набором алгоритмов, реализуемых на некотором языке моделирования. Данные описания являются программой ИМ. После отладки и испытания этой ИМ ее используют для постановки имитационного эксперимента на ЭВМ. Под процессом имитации на ЭВМ понимается разработка ИМ, ее испытание и применение для изучения какого-либо явления и проблемы. Имитируя различные реальные ситуации на ИМ, получают возможность решения следующих задач: оценка эффективности различных принципов управления системой; сравнение вариантов структуры системы; определение степени влияния изменений параметров системы и начальных условий имитации ее поведения на показатель эффективности системы.

2.9. Типовые решения при проектировании механообработки

Прежде чем перейти от абстрактных схем к рассмотрению специфики методов автоматизированного проектирования ТП, напомним те особенности, которые необходимо учитывать при изучении САПР в технологии машиностроения. Главные особенности состоят в многовариантности и слабой формализации многих проектных задач. По этой причине проектирование ТП представляет в значительной мере последовательный выбор типовых решений в зависимости от условий производственной среды и конструктивно-технологических параметров детали. Выделяют два уровня типовых решений:

- при обработке отдельных поверхностей и их сочетаний;
- типизация ТП обработки детали в целом.

Типизация при обработке отдельных поверхностей основывается на проверенных многолетней практикой и обобщенных в справочниках решениях. Типовые маршруты (планы) обработки поверхностей приводятся, например, в таблицах среднеэкономической точности обработки наружных цилиндрических поверхностей: точение (черновое, чистовое), шлифование (черновое, чистовое, тонкое). Другим примером может служить типовая последовательность обработки отверстий: сверление, зенкерование, развертывание. Состав и последовательность методов обработки в маршрутах определяется рядом факторов, из которых основными являются конечные параметры поверхности детали. Типовые решения на уровне переходов обработки отдельных поверхностей и их сочетаний используются как при разработке единичных ТП, так и при составлении типовых или групповых ТП.

Типизация на уровне обработки детали в целом имеет целью изготавливать сходные по тем или иным конструктивно-технологическим признакам детали по унифицированным ТП, разработанным предварительно с учетом совершенных технологических методов.

Идея типизации, высказанная А.А.Соколовским, заключается в классификации деталей по конструктивно-технологическим признакам: форме, размерам, точности и др. Конечная цель классификации — установление принадлежности детали к определенному типу, т.е. к совокупности деталей, имеющих в данных производственных условиях общую структуру операций и переходов. Детали одного типа в определенной степени могут отличаться набором поверхностей и некоторыми параметрами. Поэтому ТП обработки конкретной детали получается из типового путем исключения лишних операций и переходов обработки отсутствующих поверхностей. Доработка типового ТП включает также уточнение технологического оснащения, пересчет технологических размеров, выбор режимов обработки и норм времени.

Групповой метод, предложенный С.П.Митрофановым, представляет такой способ унификации технологии, при котором для обработки группы деталей устанавливается одинаковое оборудование и оснащение при выполнении всех или отдельных операций. В основе метода лежит классификация, заканчивающаяся формированием группы, т.е. совокупности деталей, характеризующейся общностью оборудования и оснащения, необходимых для обработки детали в целом или отдельных ее поверхностей. ТП обработки конкретной детали формируется путем уточнения общих поверхностей с комплексной деталью группы и выбора из групповых ТП только тех операций и переходов, которые необходимы для обработки поверхностей заданной детали.

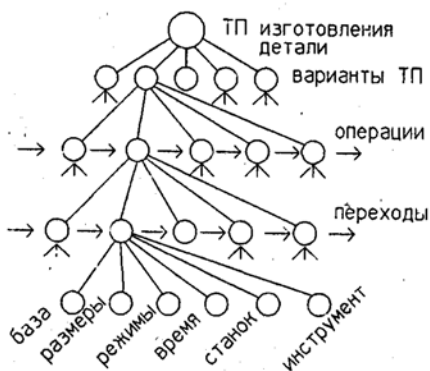


Рис. 2.11. Декомпозиция при проектировании технологии

Существование перечисленных выше некоторых типовых решений и условий их выбора при “ручном” проектировании явилось предпосылкой автоматизации процессов принятия решений в САПР ТП.

2.10. Методики автоматизированного проектирования ТП

Технологический процесс, как объект проектирования, можно представить (рис.2.11) в виде иерархической структуры, расчлененной на несколько взаимосвязанных уровней. В результате такой декомпозиции процесс проектирования ТП сводится к решению задач различной степени детализации на взаимосвязанных уровнях: от формирования состава и структуры маршрута обработки до расчета управляющих программ ЧПУ и режимов резания для отдельных поверхностей. Возможность использования промежуточных результатов в качестве исходных данных на следующем уровне приводит к тому, что характеристики процесса проектирования на каждом уровне описываются более простыми моделями и алгоритмами.

Как было показано ранее, процесс формирования ТП в общем случае — совокупность процедур структурного и параметрического синтеза с последующим анализом проектных решений. В зависимости от степени полноты реализации синтеза (главным образом структурного) и анализа можно выделить три основных методики автоматизированного проектирования ТП:

- прямого проектирования (документирования)
- анализа (адресации, аналога)
- синтеза;

Метод прямого проектирования предполагает, что подготовка проектного документа возлагается на самого пользователя, выбирающего типовые решения различного уровня из БД в диалоговом режиме.

Метод анализа исходит из того, что структура индивидуального ТП не создается заново, а определяется в соответствии с составом и структурой одного из унифицированных ТП путем анализа необходимости каждой операции и технологического перехода, с последовательным уточнением всех решений на уровнях декомпозиции сверху-вниз. Таким образом, этот метод воплощает идею "от общего к частному".

Метод автоматического синтеза основан на синтезе состава и структуры маршрутов обработки отдельных поверхностей и их сочетаний, т.е. на нижнем уровне декомпозиции, с последующим переходом к синтезу операций и маршрута на верхних уровнях в рамках принятой принципиальной схемы ТП. Таким образом, реализуется идея "от частного к общему".

Необходимо обратить внимание на то, что предлагаемая классификация не исключает объединение нескольких методик автоматизированного проектирования ТП в рамках одной САПР. Именно такой системой является САПР ТЕМП, рассмотренная в последующих главах.

Проектирование операций

Ном.	Наименование операции	Код	М ИТВ	Цех	Участок	Раб. место
1	Заготовительная			02	00	
2	Фрезерная	4260	2	05	00	
3	Плоскошлифовальная	4133	10	05	00	
4	Фрезерная	4260	2	05	00	
5	Сварочная					
6	Фрезерная	4260	2	05	00	
7	Сверлильная	4210	15	02	00	
	Токарная	Код - 4114		Инструкция по ТБ	М 1	
	Карусельная	Код - 4113		Инструкция по ТБ	М 1	
	Токарная с ЧПУ	Код - 4233		Инструкция по ТБ	М 1	
	Фрезерная	Код - 4260		Инструкция по ТБ	М 2	
	Фрезерная с ЧПУ	Код - 4234		Инструкция по ТБ	М 2	
	Сверлильная	Код - 4210		Инструкция по ТБ	М 15	
	Сверлильная с ЧПУ	Код - 4232		Инструкция по ТБ	М 15	
	Расточная	Код - 4221		Инструкция по ТБ	М 13	
	Расточная с ЧПУ	Код - 4231		Инструкция по ТБ	М 13	
	Комбинированная (микромат)	Код - 4167		Инструкция по ТБ	М 13	

Рис. 2.12. Выбор операции из меню

Проектирование переходов для операции : 2 Фрезерная	
Ном.	Наименование технологического перехода
1	Установить заготовку в тиски.
2	Фрезеровать поверхность, выдерживая размеры 75__
3	Переустановить деталь и закрепить
4	Фрезеровать поверхность, выдерживая размеры 120__

Схема строповки _____
 Установить деталь на стол станка, выверить по ходу стола. Закрепить присватами.
 Установить заготовку на стол станка.
 Выверить по разметке. Закрепить прихватами.
 Установить заготовку на столе. Выверить и закрепить.
 Установить тиски на стол станка. Схема строповки 03614.
 Установить заготовку в тиски.
 Установить заготовку в тиски. Выверить и закрепить.
 Установить деталь в тиски. Выверить и закрепить.
 Установить деталь в гидротиски. Выверить и закрепить.

Рис. 2.13. Выбор переходов из меню

№02	19.000				23.000				лист				430						
А	Цех	Уч.	Рм	Опер	Код, наименование операции								№0						
В	Код, наименование оборудования								См	Проф.	Р	Уч	КР						
А	02	00		005	Заготовительная														
Б	код ОКП				601														
А	05	00		010	4260 Фрезерная				Инструкция по ТБ № 2										
Б	код ОКП				106602	6С.5													
0 1	Установить заготовку в тиски.																		
1	тиски 7200-0223 гост14904-80 ;																		
0 2	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер 75																		

Рис. 2.14. Фрагмент маршрутной карты

Метод прямого проектирования

Согласно этому методу процесс проектирования сводится к выбору из меню разных уровней: операций, переходов оборудования, оснастки. Выбранная пользователем из БД информация автоматически заносится в графы и строки шаблона маршрутной или операционной карты.

На рисунках 2.12, 2.13 показаны типичные экраны системы "АРМ Технолога" (НПО СИСТЕМА, г. Новосибирск). В нижней половине экрана на рис. 2.12 приведено меню доступных пользователю в БД операций, а в верхней части — ранее отобранные операции. На рис. 2.13 показан выбор из меню переходов. Фрагмент сформированной маршрутной карты представлен на рис. 2.14.

Метод анализа

Этот метод в общем случае реализует следующую схему проектирования: ввод описания чертежа детали — определение конструкторско-технологического кода детали — поиск по коду в БД приемлемого унифицированного ТП — анализ его структуры — доработка в соответствии с описанием чертежа детали — оформление индивидуального ТП.

Использование данного метода на этапе разработки или адаптации САПР предшествует подготовительная работа. Из множества деталей заводской номенклатуры выбираются группы, имеющие общие признаки, способы обработки и типы заготовки.

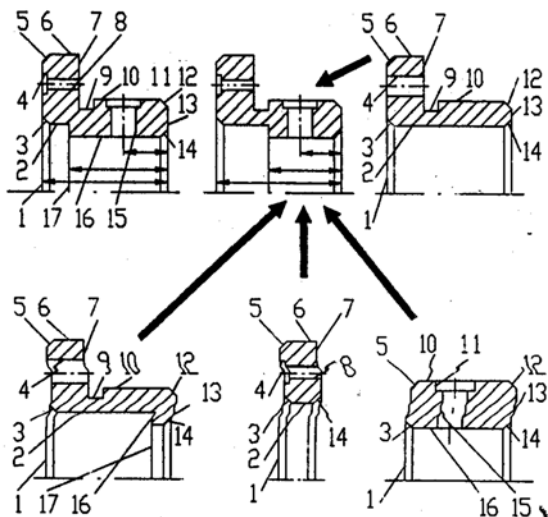


Рис. 2.15. Построение комплексной детали группы

яющие общие признаки, способы обработки и типы заготовки. Для каждой группы деталей формируется (рис. 2.15) обобщенная модель детали (комплексная деталь), включающая все многообразие поверхностей рассматриваемой группы. Для комплексной детали составляется унифицированный ТП, который является и збы точным,

Методики автоматизированного проектирования ТП **55**
т.е. содержит операции и переходы обработки всех деталей группы.

В ходе текущего проектирования определяется принадлежность вновь поступившей в производство детали к той или иной группе путем сопоставления конструкторско-технологического кода детали с кодом комплексной детали. Далее выполняется анализ с целью корректировки структуры унифицированного ТП комплексной детали: анализируется необходимость включения в индивидуальный процесс каждой операции и перехода унифицированного ТП. Для этого каждой операции и переходу унифицированного ТП соответствует логическая функция. Логическая функция включает условия, учитывающие геометрические особенности поверхностей, вид заготовки, требуемую точность обработки, качество поверхностного слоя, габариты детали. В общем случае логическая функция выбора k -й операции имеет вид

$$f_k = \bigvee_{j=1}^{n_2} (\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i)_j$$

где A_i — условия для группы деталей; n_1 — число условий, связанных конъюнкцией; n_2 — число условий, связанных дизъюнкцией.

Для некоторых операций, которые являются общими для всех деталей группы, логическая функция отсутствует. Таким образом формируется структура индивидуального ТП. Затем выполняется так называемая параметрическая настройка: выбор оборудования и оснастки, расчет режимов резания, норм времени, расчет размерных характеристик и т.п.

Метод анализа (адресации, аналога) является основным методом проектирования ТП при эксплуатации гибких производственных систем (ГПС). Применение этого метода дает наибольший эффект при внедрении на производстве групповых и типовых ТП, т.к. метод не нарушает существующей специализации производственных подразделений, упрощает процесс проектирования, не требует трудноформализуемых процедур синтеза новых структур.

Метод синтеза

Упрощенная схема этого метода такова: ввод описания чертежа детали — синтез маршрута обработки для всех поверхностей — формирование этапов обработки в соответствии с принципиальной схемой ТП — упорядочение операций в маршруте — упорядочение переходов в операциях — доработка по описанию чертежа детали — оформление документации.

Алгоритмы построения САПР на основе метода синтеза существенно отличаются друг от друга. Отличия являются следствием: • ориентации на проектирование деталей определенного класса (тел вращения), деталей любой сложности, за исключе-

нием, малой жесткости и специального профиля; • степени полноты технологических указаний в описании детали; • различной степени формализации технологических закономерностей; • особенностей типа и условий производственной среды, для которой создается САПР и др. Однако во всех направлениях данного метода автоматизированного проектирования разработка индивидуальных ТП ведется синтезом из элементарных маршрутов обработки поверхности (МОП)*.

Синтез маршрута обработки поверхности. МОП — это последовательность методов (видов, переходов одного метода) обработки, необходимых для достижения требуемых чертежом детали параметров поверхности. Такими параметрами являются: геометрический тип поверхности, точность размера, шероховатость, точность относительно

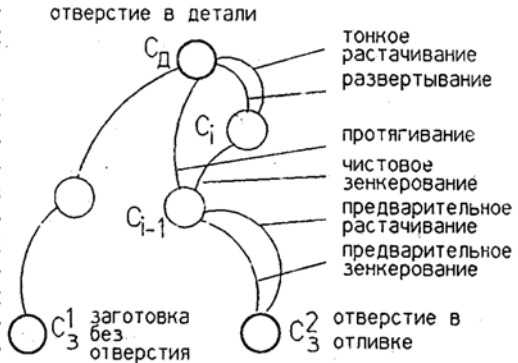


Рис. 2.16. Граф альтернативных структур ТП

положения, вид термообработки и др. Между методами обработки и параметрами поверхности существует связь, описываемая функцией $M_i: C_{i-1} \rightarrow C_i$, которая задает технологическое преобразование поверхности с параметрами низкого качества C_{i-1} в поверхность с более высоким качеством C_i посредством метода M_i .

Разнообразие существующих методов обработки приводит к тому, что одни и те же параметры поверхности детали могут быть достигнуты разными МОП. Возможные варианты обработки поверхности можно представить (рис. 2.16) в виде графа $G(C, M)$. Множество C вершин графа характеризует параметры промежуточных состояний данной поверхности, а множество дуг M — методы (или виды одного метода) обработки, с помощью которых поверхность C_{i-1} преобразуется в поверхность C_i . Любая последовательность ребер в графе, приводящая из вершины C_3 , характе-

*) Сопоставьте содержание МОП с содержанием ЭТП в главе 8!

Таблица 2.1. Пример МОП тел вращения

Код МОП	Код метода обработки	Вид обработки	Параметры поверхности после обработки	
			калитет	Ra, мкм
12	100	Точение: черновое получистовое	16	25
	101		14	12,5...6,3
13	100	Точение: черновое получистовое чистовое	16	25
	101		14	12,5...6,3
	102		13...11	3,2
14	100	Точение: черновое получистовое чистовое тонкое	16	25
	101		14	12,5...6,3
	102		13...11	3,2
	103		11...8	1,6
15	100	Точение: черновое получистовое Шлифование п/чистовое	16	25
	101		14	12,5...6,3
	502		11...8	3,2

Таблица 2.2. Выбор МОП с помощью таблиц соответствий

Условия выбора МОП															Код МОП
Код типа поверхности			Точность размера					Шероховатость				Термо-обработка			
цил	тор	14	13	11	7	12,5	3,2	1,6	0,4	...	за-калка	азо-тирован.	
0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	12
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	13
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	14
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	15

ризирующей поверхность заготовки, в S_d , соответствующую поверхности детали, представляет вариант МОП.

Ограничения, накладываемые рядом эвристических условий, полученных на основе обобщения опыта в отрасли или на конкретном предприятии, позволяют резко сократить количество альтернатив МОП. Это дает возможность повысить эффективность алгоритмов формирования маршрутов обработки детали в целом, поскольку отпадает необходимость анализа большого числа нерациональных вариантов ТП.

Большинство алгоритмов назначения МОП имеет табличную структуру и состоит из конечного множества типовых МОП (табл.2.1), а также совокупности условий выбора того или иного МОП. Выбор допустимых вариантов МОП проводится с помощью таблиц соответствий (табл.2.2) или аппарата СУБД путем сравнения параметров, обеспечиваемых завершающим методом МОП, с требуемыми параметрами поверхности детали.

На рис.2.17 показаны результаты синтеза МОП трех торцевых поверхностей втулки в виде трех линейных графов. Параметры поверхности 3 достигаются получистовым шлифованием, являющимся завершающим видом МОП с кодом 15 из табл.2.1. Выбор МОП предопределяет не только последовательность более точных видов обработки, но и количество промежуточных состояний поверхности 3. Конечное состояние этой поверхности, соответствующее параметрам чертежа, обозначено номером 30, промежуточное состояние после получения точения — 31, состояние заготовки — 30.

Принципиальная схема ТП. Дальнейшая задача заключается в том, чтобы из отдельных МОП построить допустимые варианты ТП обработки детали. Для решения этой задачи используется хранящаяся в БД принципиальная схема, разбивающая будущий ТП на последовательность отдельных этапов обработки, начиная от заготовки и кончая конечными размерами детали. Наличие принципиальной схемы позволяет вести проектирование ТП в порядке, обратном изготовлению детали, т.е. от заключительных этапов, с известными из чертежа параметрами детали, к черновым; кончая выбором размеров и формы заготовки.

Принципиальная схема ТП построена на основе анализа

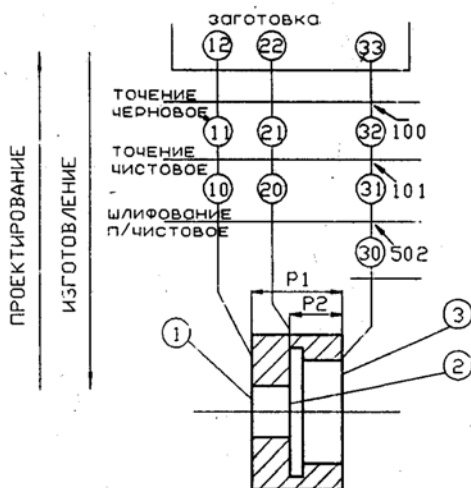


Рис. 2.17. Формирование МОП

Таблица 2.3. Этапы принципиальной схемы ТП

Номер этапа	Наименование	Назначение и достигаемые параметры
Э1	Заготовительный	Получение заготовки и термообработка
Э2	Черновой	Съем лишних напусков и припусков
Э3	Термический I	Термообработка: улучшение, старение
Э4	Получистовой I	Точность: 11 ... 13 кв., Ra=2,5
Э5	Термический II	Цементация
Э6	Получистовой II	Съем припуска для предохранения от цементации
Э7	Термический III	Закалка, улучшение
Э8	Чистовой I	Точность 6,7 кв., Ra=1,25
Э9	Термический IV	Азотирование, старение
Э10	Чистовой II	Съем для предохранения
Э11	Чистовой III	Точность 5 кв., Ra=0,16
Э12	Гальванический	Хромирование, никелирование и др.
Э13	Доводочный	Ra=0,04

обработки деталей различных классов с учетом возможных комбинаций термической и последующей механической обработки. Универсальная принципиальная схема (табл.2.3) по Цветкову содержит 13 этапов. Этап — часть ТП обработки детали, включающая однородные по достигаемым параметрам методы обработки различных поверхностей и детали в целом. К одному этапу относятся, например, тонкое фрезерование и тонкое точение, поскольку оба метода обеспечивают одинаковые параметры шероховатости и точности.

С помощью условий принципиальной схемы анализируется необходимость при обработке детали каждого этапа из табл.2.3 и выявляются те переходы, из выбранных ранее для каждой поверхности МОП, которые должны быть выполнены на данном этапе. Отнесение переходов МОП и самих промежуточных поверхностей к этапам принципиальной схемы ТП производится путем сравнения параметров поверхности заготовки, обеспечиваемых

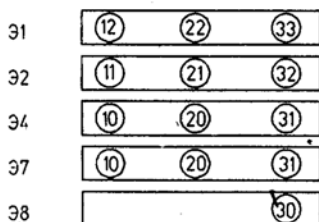


Рис. 2.18. Формирование этапов ТП

60 Глава 2. Формализация процесса проектирования переходом МОП, с параметрами, характеризующими этап по табл. 2.3.

В результате распределения переходов по этапам, каждый этап будет содержать переходы одного или разных методов обработки с одинаковыми (или близкими) параметрами точности, шероховатости поверхности и др. Возвращаясь к примеру на рис. 2.17, видим, что распределение МОП по этапам принципиальной схемы (с учетом закалки и последующего шлифования торца 3) приведет к формированию схемы этапов ТП, показанной на рис. 2.18 (в данном примере этапы содержат переходы одного метода обработки, что, конечно, не характерно для более сложных деталей).

Формирование маршрута обработки. Исходными данными для проектирования на уровне маршрута обработки детали служит полученная ранее временная структура принципиальной схемы этапов ТП и сформированный набор методов-переходов одного или разных МОП в каждом этапе. Каждый переход записан в памяти ЭВМ в промежуточные массивы в виде многоуровневого кода, состоящего из номера получаемой поверхности и кода метода обработки из табл. 2.1. Например, код 31101 содержит информацию о 1-м промежуточном состоянии 3-й поверхности детали после обработки методом 101, т.е. получистовым (1) точением (10).

Переходы одного метода обработки, коды которых имеют одинаковый код оборудования (или метода обработки), образуют укрупненную операцию этапа. Для такой операции характерна максимальная концентрация переходов, что равносильно одновременной обработке всех поверхностей. В производственных условиях такая операция не всегда может быть выполнена и требует разукрупнения (дифференциации) на несколько простых. Основой формирования простых операций является упорядочение обработки поверхностей путем выбора обоснованной последовательности установов.

Наличие нескольких укрупненных операций разных методов обработки, помимо дифференциации, ставит задачу определения последовательности их выполнения.

Таким образом, при формировании маршрута обработки определяется состав операций, укрупненные операции дифференцируются на простые, формируется последовательность операций в каждом этапе, а затем выбирается тип оборудования для каждой операции.

Расчленение исходного набора переходов этапа на укрупненные операции выполняется программным модулем, представляющим собой процедуру сортировки кодов отобранных в этап переходов по признаку типа оборудования.

Дифференциация операций осуществляется путем определения рационального состава и последовательности обработки. Алгоритмы основаны на анализе отношений между поверхностями

Методики автоматизированного проектирования ТП 61
детали: наложения, когда одна из поверхностей расположена на другой и поэтому не может быть обработана раньше; точности взаимного расположения, когда в первую очередь должна быть обработана базовая поверхность, и др.

Формирование последовательности операций выполняется путем выявления признаков технологической совместимости и предшествования. Две операции попарно совместимы, если состоящие детали на выходе одной операции может быть исходным для другой. Так, фрезерованию шпоночной канавки должна предшествовать токарная обработка цилиндрической поверхности; сверлению центрального отверстия — фрезерование торца и т.д.

Источником информации для выбора оборудования являются технологические признаки кода перехода. Конкретная модель станка определяется по таблицам соответствий или обращением к БД с учетом габаритных размеров детали (сопоставляются с рабочей зоной станка), требований точности, величины партии и других факторов.

Формирование состава и структуры операций. Задача данного уровня декомпозиции проектирования состоит в том, чтобы определить оптимальную последовательность переходов, рациональную форму, окончательные и промежуточные размеры заготовки.

Для структуры технологической операции (не говоря уже о технологическом процессе) характерна многовариантность, которая предполагает существование оптимального решения. Поиск (синтез) оптимальной операции включает в себя создание структуры операции (элементов системы СПИД, порядка выполнения переходов) и расчет ее параметров (припусков и промежуточных размеров, режимов резания). Эти две задачи синтеза называют структурной и параметрической оптимизацией. В основе решения задач структурной оптимизации, как было указано ранее, заложен перебор конечного множества вариантов, состоящий из трех этапов:

- собственно синтез (создание) очередного варианта;
- анализ (оценка) варианта;
- принятие решения о замене ранее выбранного варианта на новый или о прекращении синтеза новых вариантов.

Для оценки уровня создаваемых вариантов вводится целевая функция, выражающая качество варианта, формируется критерий оптимальности, т.е. правило предпочтения одного варианта другому. В качестве критерия оптимальности обычно используется \min технологической себестоимости. В связи с тем, что рассчитать значение этой целевой функции можно только после того, как будет полностью синтезирована структура операции и выполнена ее параметрическая оптимизация, поиск оптимального варианта структуры методом перебора требует значительных затрат машинного времени. Поэтому на каждом шаге синтеза

обычно вводят косвенные или эвристические (основанные на предыдущем опыте проектирования) критерии. Руководствуясь ими, отбрасываются малоэффективные варианты. В итоге на заключительном шаге проектирования анализируются лишь несколько наиболее рациональных вариантов, по которым и принимается решение.

Содержание отдельных шагов, на которые расчленяется синтез операции, реализуются независимыми программными модулями. Взаимодействие модулей организуется в рамках итерационного алгоритма, многократно обращающегося к одним и тем же шагам в ходе улучшения первоначальной структуры. Количество вариантов структуры при использовании такого алгоритма существенно меньше, чем при полном переборе, но нет гарантии наилучшего решения.

Одним из первых шагов итерационного алгоритма является выбор вариантов технологических баз и схемы базирования. В основу алгоритма закладывается известный принцип единства конструкторских и технологических баз. Перспективные конструкторские базы, т.е. поверхности, от которых задано наибольшее количество размеров и которые имеют достаточную опорную площадь, — выявляются анализом размерной информации из описания детали. Эти базы желательно использовать в качестве технологических на заключительных этапах ТП. Окончательное решение принимается после анализа влияния дополнительных факторов: формы, массы детали, размеров поверхностей, точностных требований и др. Формализация выбора технологических баз представляет одну из самых трудноформализуемых задач автоматизированного проектирования. Решение данной задачи для деталей сложной конфигурации в настоящее время целесообразно выполнять в диалоговом режиме проектирования.

Выбор варианта базирования позволяет перейти к поиску оптимальной последовательности обработки совокупности поверхностей детали. В зависимости от особенностей операции такая задача решается, например, одновременно для нескольких ступенчатых (плоских, цилиндрических) поверхностей или для отверстий на плоскостях корпусных деталей. Для ступеней меньшего диаметра цилиндрических деталей часто характерен напуск, удаление которого ведется в несколько рабочих ходов. Анализ возможных вариантов обработки выполняется с помощью целевой функции, учитывающей затраты основного времени и вспомогательного, связанного с холостыми перемещениями инструмента. Критерием оптимальности является \min основного времени. Алгоритм поиска оптимальной последовательности ходов предполагает построение направленного графа и решение задачи коммивояжера (в задаче коммивояжера определяется замкнутый маршрут наименьшей стоимости между несколькими городами, которые нужно посетить торговому агенту при условии посещения каждого города по одному разу).

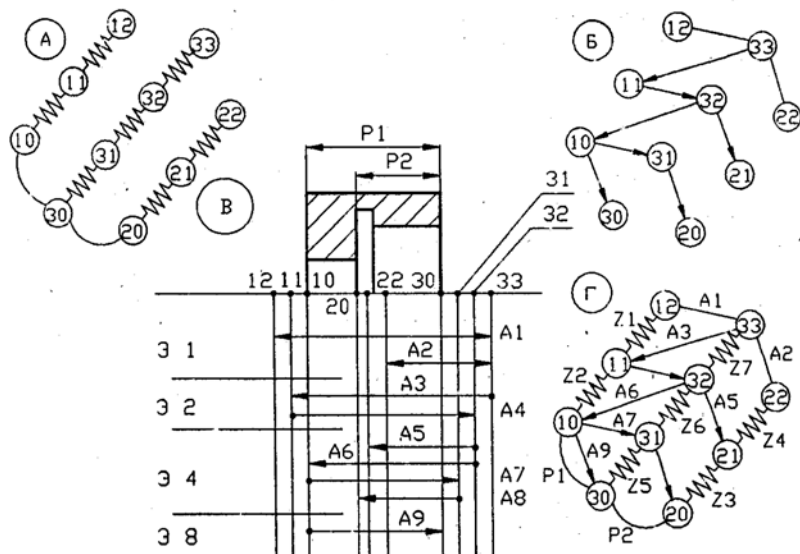


Рис. 2.19. Формирование структуры операции

Другим характерным примером оптимизации структуры переходов в операции является сверление нескольких отверстий в корпусной детали на многооперационном станке. Задача формирования управляющей программы для системы ЧПУ одним из этапов имеет определение последовательности обработки с \min временем холостых перемещений инструмента. Иначе говоря, отыскивается маршрут между отверстиями наименьшей протяженности. Для решения этой задачи используется алгоритм Лигла — метод ветвей и границ для решения уже упомянутой задачи коммивояжера. Первый вариант обработки отверстий на плоскости таков: имеется несколько отверстий одного диаметра, расстояния между любыми двумя отверстиями известны. Надо вычислить кратчайший маршрут сверла, обрабатывающего один раз каждое отверстие. Во втором варианте отыскивается общий маршрут для отверстий разного диаметра. При переходе от отверстия одного диаметра к другому учитывается время смены инструмента.

Задача расчета технологических размеров должна решаться на основе построения графа технологических РЦ. Применение теории графов

Таблица 2.4. Последовательность определения размеров

Состав РЦ	Звено	Очередь решения РЦ
P1-A9	A9	1
P2-A9 A7 A8	A8	7
Z1-A1 A3	A1	6
Z2-A4 A6	A4	4
Z3-A6 A7 A5 A8	A5	8
Z4-A2 A3 A4 A5	A2	9
Z5-A7 A9	A7	2
Z6-A6 A7	A6	3
Z7-A3 A4	A3	5

дает возможность выявить допустимые варианты обработки и выбрать из них наиболее рациональные. Граф технологических РЦ связан с графами МОП (см. рис.2.16 и рис.2.17) и формируется на базе дерева промежуточных состояний заготовки и дерева ТП обработки. На

рис.2.19,а показано дерево промежуточных состояний при обработке торцевых поверхностей втулки (см. рис.2.8). Неориентированным ребрам этого дерева ставятся в соответствие конструкторские размеры чертежа детали и значения припусков на обработку. На рис.2.19,б показано дерево ТП, а на рис.2.19,в размерная схема ТП. Ребра дерева выражают промежуточные технологические размеры и размеры заготовки. В результате совмещения деревьев образуется граф технологических РЦ (рис.2.19,г). В этом графе ребра образуют контуры — размерные цепи, замыкающиеся звеньями которых являются известные конструкторские размеры и припуски, а составляющими звеньями — технологические размеры.

Изменение баз или порядка обработки поверхностей отражается на структуре графа, следовательно, на составе РЦ и точности технологических размеров. Это обстоятельство используется при поиске оптимальной структуры ТП. В качестве критериев для подобных задач принимается \min переустановок, \min составляющих звеньев в цепях и др. В ходе поиска корректируют структуру обработки в этапах путем: 1) вынесения обработки поверхности в более точный этап; 2) введения дополнительной обработки; 3) изменения метода обработки; 4) изменение схемы базирования.

Выбор параметров структуры операции. Алгоритм выбора режущего инструмента состоит из двух частей: выбор кон-

Методики автоматизированного проектирования ТП 65

курующих типов инструмента, которыми может быть выполнен переход; выбор наилучшего типа по некоторым критериям (экспертным оценкам). Выбор инструмента зависит от совокупности признаков, характеризующих переход: от кода перехода, кода оборудования, размеров обрабатываемой поверхности, материала заготовки и др. Необходимая информация вызывается из БД или выбирается с помощью рассмотренных выше таблиц соответствий.

Определение режимов обработки проводится одним из трех вариантов: выбором нормативных значений частоты и подачи из БД по известному набору исходных данных (точность, шероховатость, материал заготовки, геометрия инструмента и т.д.; решением задачи параметрической оптимизации методом линейного программирования для случая использования степенных стойкостных зависимостей (в историческом плане — это один из первых примеров использования ЭВМ в технологическом проектировании); решением задачи параметрической оптимизации, как задачи нелинейного программирования в случае нестепенных зависимостей и соответственно нелинейных целевых и функций-ограничений.

Оформление документации. Заключительным шагом проектирования является сведение всей рассчитанной и хранящейся в разных промежуточных массивах технологической информации о спроектированном ТП в единый документ — маршрутную (операционную) карту, шаблон которой содержится в составе постоянной информации БД.

Более конкретно особенности реализации методик проектирования на ПЭВМ разобраны в последующих главах на примере САПР ТЕМП.