

А. И. КОНДАКОВ

САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УЧЕБНИК

Допущено

*Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Технология машиностроения»
направления подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»*



Москва

Издательский центр «Академия»

2007

УДК 681.1(075.8)
ББК 30.2-5-05я73
К642

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления» МГТУ «Станкин», профессор, д-р техн. наук *В. Г. Митрофанов*;
заведующий кафедрой «Технологическая информатика и технология машиностроения» Московского государственного университета приборостроения и информатики, профессор, д-р техн. наук *Н. М. Султан-Заде*

Кондаков А. И.

К642 САПР технологических процессов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. И. Кондаков. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 272 с.
ISBN 978-5-7695-3338-9

В учебнике изложены основные положения дисциплины «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП)» изготовления изделий машиностроения. Раскрыта роль автоматизации проектирования технологических процессов в поддержке жизненного цикла изделий машиностроения и управлении им. Рассмотрены принципы построения и структура САПР ТП, вопросы информационного, математического, лингвистического, программного, организационно-методического обеспечения САПР ТП. Дано описание отечественных САПР ТП, применяющихся в промышленности. Раскрыты перспективные направления совершенствования САПР ТП и методы их разработки.

Для студентов высших учебных заведений. Может быть полезен аспирантам, специалистам машиностроительных предприятий, работникам научно-исследовательских учреждений и организаций — разработчикам САПР ТП.

УДК 681.1(075.8)
ББК 30.2-5-05я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Кондаков А. И., 2007
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2007
ISBN 978-5-7695-3338-9 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Непрерывное усложнение конструкций машин, рост требований к их эксплуатационному качеству, обострение конкуренции на рынке машиностроительной продукции вызывают насущную необходимость в резком сокращении длительности производственно-технологического цикла создания машин при повышении качества принимаемых и реализующихся проектных технологических решений. Это возможно лишь при автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) и непосредственного производства машин.

Автоматизация проектирования технологических процессов (ТП) охватывает основные научно-методологические аспекты проблемы автоматизации важнейшей функции ТПП, включая проектирование процессов изготовления деталей и сборки машин.

Представленный учебник посвящен изложению основных положений дисциплины «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП)» изготовления изделий машиностроения.

Большой вклад в формирование и развитие этой дисциплины внесли отечественные ученые: Г. К. Горанский, Н. М. Капустин, Д. Д. Куликов, В. Г. Митрофанов, С. П. Митрофанов, И. П. Норенков, В. В. Павлов, Б. С. Падун, А. Г. Ракович, О. И. Семенков, Ю. М. Соломенцев, А. С. Старец, В. Г. Старостин, Н. М. Султан-Заде, Б. Е. Челищев, В. Д. Цветков и др.

Целью учебной дисциплины «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» является подготовка специалистов к созданию (разработке) и эксплуатации САПР ТП при ТПП и производстве изделий машиностроения.

Дисциплина должна способствовать приобретению профессиональных знаний:

- современных тенденций развития методов, средств и систем конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств;
- прогрессивных методов разработки и эксплуатации САПР ТП изделий машиностроения;
- методов создания и исследования математических моделей ТП с использованием компьютерной техники;

- методов и средств разработки информационного, математического, лингвистического, программного, организационно-методического и технического обеспечения САПР ТП.

Проблематика автоматизации проектирования ТП рассмотрена в учебнике с позиций автоматизации поддержки жизненного цикла изделий (ЖЦИ) машиностроения и управления им. Дана оценка современного состояния автоматизации проектирования ТП изготовления деталей и сборки. Определены основные понятия предметной области дисциплины.

Изложены принципы построения САПР ТП. Выполнен анализ состава и структуры систем, базирующихся на использовании различных методологий технологического проектирования. Рассмотрены основные виды обеспечения САПР ТП. Намечены и проанализированы перспективные направления совершенствования отечественных САПР ТП. Показаны основные методические приемы, используемые при разработке современных САПР ТП.

Автор стремился сделать содержание учебника максимально способствующим формированию специалиста нового типа — сочетающего глубокие знания и практические навыки в области технологии машиностроения, а также применения и разработки средств автоматизации на основе современных информационных технологий и вычислительной техники. Использован опыт чтения автором ряда курсов по тематике автоматизации принятия проектных технологических решений и разработки интеллектуальных систем технологического назначения в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей функцией ТПП изделий машиностроения является проектирование ТП их изготовления, включающее:

- проектирование ТП изготовления деталей;
- проектирование ТП узловой и общей сборки машин;
- подготовку управляющих программ для оборудования.

Неавтоматизированное проектирование ТП весьма трудоемко, принимаемые при этом проектные решения субъективны и зачастую далеки от оптимальных. Лишь незначительная часть (не более 10... 15 %) времени затрачивается технологами на принятие решений, а остальное — на поиск нужной информации и оформление (документирование) результатов. В результате увеличивается длительность ТПП, возникают предпосылки потери качества изделий.

Сокращению длительности ТПП и производственно-технологического цикла создания машин в целом при повышении качества принимаемых и реализующихся проектных решений способствует автоматизация ТПП и ее отдельных функций.

К САПР ТП относят автоматизированные системы, предназначенные для проектирования ТП и подготовки управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), реализующих эти процессы.

Сказанное, в сочетании с развитием необходимых профессиональных навыков, определяет основные задачи дисциплины «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов».

Дисциплину «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» условно можно разделить на четыре основные части.

В первой из них раскрывается суть актуальной научной проблемы автоматизации проектирования ТП.

Определено место САПР ТП среди систем автоматизации поддержки ЖЦИ машиностроения и управления им. Дана общая оценка современного состояния САПР ТП.

Вторая часть дисциплины посвящена изложению основных принципов построения и структуры САПР ТП, базирующихся на использовании различных методологий технологического проектирования. Рассмотрено построение САПР ТП на базе использования процессов-аналогов, а также автоматизации синтеза единичных ТП.

В третьей части дисциплины подробно рассмотрены различные виды обеспечения САПР ТП: информационного, математического, лингвистического, программного, технического и организационно-методического.

Четвертая, заключительная часть дисциплины посвящена сравнительному анализу реализаций отечественных САПР ТП, применяемых в машиностроении. Рассмотрены основные направления совершенствования САПР ТП, а также отдельные методические приемы их разработки.

Фундаментальной научно-методической основой САПР ТП являются базовые принципы и положения технологии машиностроения. Вместе с тем разработка САПР ТП немыслима без математического моделирования объектов проектирования, методов исследования операций, теории оптимизации, теории принятия проектных решений и современных информационных технологий.

Автоматизация технологического проектирования прошла исторически короткий, но бурный путь развития. Успехи автоматизации проектирования ТП впечатляют. Разработано значительное число автоматизированных систем проектирования различного целевого назначения. Идет интенсивное внедрение САПР ТП в промышленность.

Однако существующие реализации систем еще не в полной мере отвечают растущим потребностям их пользователей, что вызывает необходимость постоянного совершенствования методологии САПР ТП.

Накопленный опыт разработки и эксплуатации САПР ТП показывает, что создание систем на основе простого копирования и формализации действий человека (технолога-проектировщика) не является эффективным. Необходима разработка специализирован-

ных (проблемно-ориентированных) проектных процедур, базирующихся на использовании широких возможностей современных информационных технологий.

Важнейшим аспектом разработки современных САПР ТП является их ориентация на информационную интеграцию и взаимодействие с другими системами поддержки ЖЦИ. Это накладывает определенные ограничения методического характера, которые должны быть учтены при разработке систем.

Полноценная реализация уже разработанных научно-методических подходов в современных САПР ТП, дальнейшее совершенствование методологии автоматизированного проектирования ТП позволят вооружить отечественное машиностроение мощными средствами повышения конкурентоспособности его изделий.

ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Жизненный цикл и технологическая подготовка производства изделий машиностроения

Изделием в машиностроении называют предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии.

ЖЦИ — совокупность взаимосвязанных процессов создания и последовательного изменения состояния изделия от формирования исходных требований к нему до окончания его эксплуатации или потребления. Каждый из указанных процессов связывают с определенным этапом ЖЦИ (рис. 1.1).

На этапе маркетинга анализируют состояние рынка соответствующей машиностроительной продукции. Устанавливают наличие текущей или перспективной потребности в изделиях данного функционального назначения. Определяют основные требования потребителей к этим изделиям. Устанавливают состав и значения основных показателей эксплуатационного качества (мощность, производительность, КПД, показатели надежности и т. д.). Разрабатывают общее описание конкурентоспособного изделия. В нем указывают условия эксплуатации и показатели эксплуатационного качества изделия, потребительские предпочтения в отношении эргономических, эстетических и других характеристик продукции, требования к условиям поставки. Ориентировочно определяют предполагаемый объем выпуска изделия (емкость рынка).

На основе требований, содержащихся в описании конкурентоспособного изделия, оформляют техническое задание на его конструирование и разрабатывают конструкцию изделия. При этом возможно создание различных вариантов конструкций, проведение необходимых расчетов, изготовление и исследование (отработка) опытных образцов изделия.

Все данные, необходимые и достаточные для изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта разрабатываемого изделия указывают в рабочей конструкторской документации (ГОСТ 2.103—68 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки»). Порядок разработки, оформления и обращения конструкторской документации установлен комплексом государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

На этапе материально-технического обеспечения определяют перспективные потребности производства в различных ресурсах. Под производственными ресурсами понимают совокупность средств производства, а также трудовые, природные, финансовые, материальные, энергетические и информационные ресурсы, вовлеченные в процесс производства. Приобретают необходимые ресурсы для организации планирующегося выпуска разработанного изделия.

Под ТПП понимают совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства (ГОСТ 14.004—83 «Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий»). Последняя определяется наличием на предприятии полных комплектов рабочей, конструкторской, технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для обеспечения заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями.

Организацию и управление ТПП регламентируют государственные стандарты Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Под производством понимают организацию и осуществление изготовления продукции. Производство товарной (предназначенной для реализации на рынке) продукции называют основным. Производство принято разделять по типу (единичное, серийное и массовое), виду (литейное, сварочное, механосборочное и т. д.), уровню автоматизации (неавтоматизированное, автоматизированное и автоматическое), базовому принципу организации (непрерывно-поточное, переменнo-поточное и непоточное). Высшую форму развития производства на основе сочетания информацион-

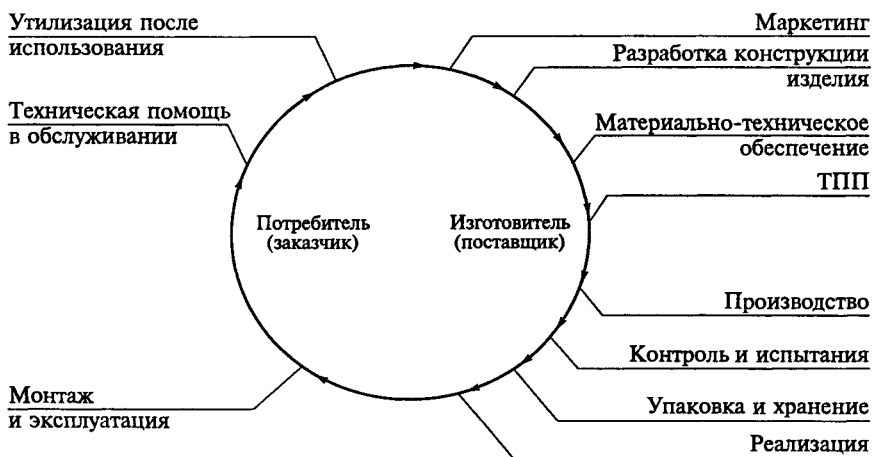


Рис. 1.1. Структура ЖЦИ машиностроения

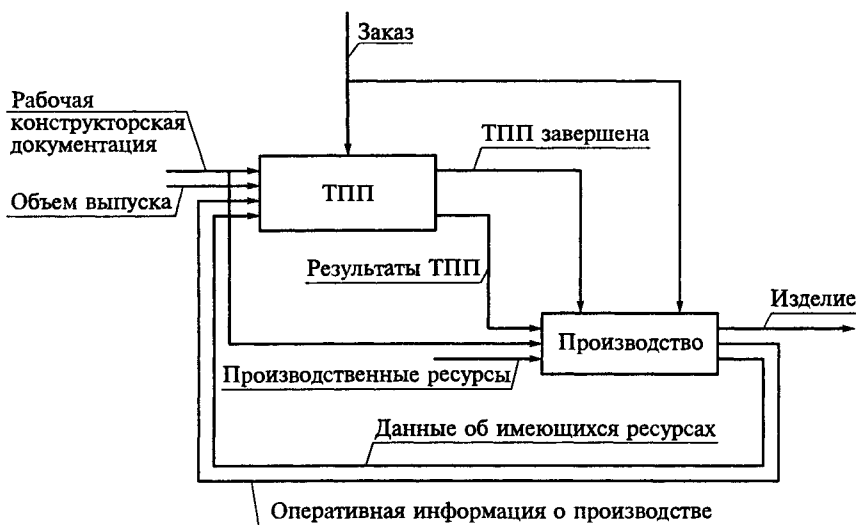


Рис. 1.2. Структура ПТЦ

ных технологий и технологий материального производства называют компьютеризированным интегрированным производством (Computer integrated manufacturing — СІМ).

Каждый из послепроизводственных этапов ЖЦИ имеет конкретную цель, для достижения которой создают необходимые условия и выделяют необходимые ресурсы.

Общей целью для всех этапов ЖЦИ является обеспечение высокого качества изделия при его производстве и эксплуатации. Этого добиваются путем выполнения на каждом этапе комплекса соответствующих мероприятий, поэтому в технической литературе структуру ЖЦИ, изображенную на рис. 1.1, иногда называют «петля качества».

Изготовитель (поставщик) и потребитель (заказчик) являются участниками единого ЖЦИ. Для обеспечения высокого качества изделия и достижения своих целей они должны тесно сотрудничать и постоянно взаимодействовать друг с другом.

Важнейшими этапами ЖЦИ, на которых в значительной мере формируется качество изделия, являются этапы ТПП и производства, которые принято объединять в производственно-технологический цикл (ПТЦ). Выполнение ПТЦ (рис. 1.2) связано с принятием и реализацией технологических решений.

Технологическим называют любое решение, принимаемое и реализуемое в ПТЦ, относящееся непосредственно к определению или изменению состояния предмета производства и направленное на обеспечение выпуска продукции. Технологические решения служат основой для разработки конструкторско-технологич-

ческих мероприятий и соответствующей документации при ТПП, направляемых для исполнения и внедрения в производство.

Основными функциями ТПП на уровне предприятия являются (рис. 1.3):

- обеспечение технологичности конструкций изделий;
- выбор и подготовка заготовок;
- разработка ТП;
- проектирование средств технологического оснащения;
- контроль и управление ТП.

Входную информацию для системы ТПП образуют: рабочая конструкторская документация на изделие и директивную заготовку (заготовку детали, поступившую к изготовителю изделия с другого предприятия, например, специализирующегося только на выпуске заготовок), объем выпуска изделия, информационное обеспечение. На рис. 1.3 и далее при рассмотрении структуры ТПП входная информация помечена символом «I», выходная — символом «O».

Рабочая конструкторская документация на изделие включает в себя сборочные чертежи изделия и его сборочных единиц, спецификации, ведомость спецификаций, ведомость покупных изделий, чертежи деталей изделия, программы и методики испытаний, техническое описание и инструкции по эксплуатации изделия.

Сборочный чертеж — графическое изображение изделия, отвечающего техническому заданию, позволяющее оценить соответствие конструкции следующим требованиям и показателям: работоспособности, технического уровня, безопасности работы, удобства обслуживания, возможности и простоты ремонта, монтажа и демонтажа изделия.

Чертеж детали — основной конструкторский документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля (требования к точности размеров, форме, взаимному расположению поверхностей, шероховатости, сведения о материале и др.). Информация, содержащаяся на чертеже детали, при наличии данных о конкретных условиях производства должна быть достаточной для принятия технологических решений, например, оценки возможности изготовления детали на универсальном или специальном оборудовании, выборе режущего инструмента и т. д.

При использовании систем автоматизированного проектирования конструкций изделий (САПР К) информация об изделии и его элементах может импортироваться системой ТПП в наиболее удобных для применения формах. В частности, вместо сборочных чертежей и чертежей детали используют геометрическо-технологические модели изделия и его элементов, полученные в САПР К различными способами. Необходимые для формирования технологических решений данные в этом случае являются атрибутами (дополнительными характеристиками) моделей.

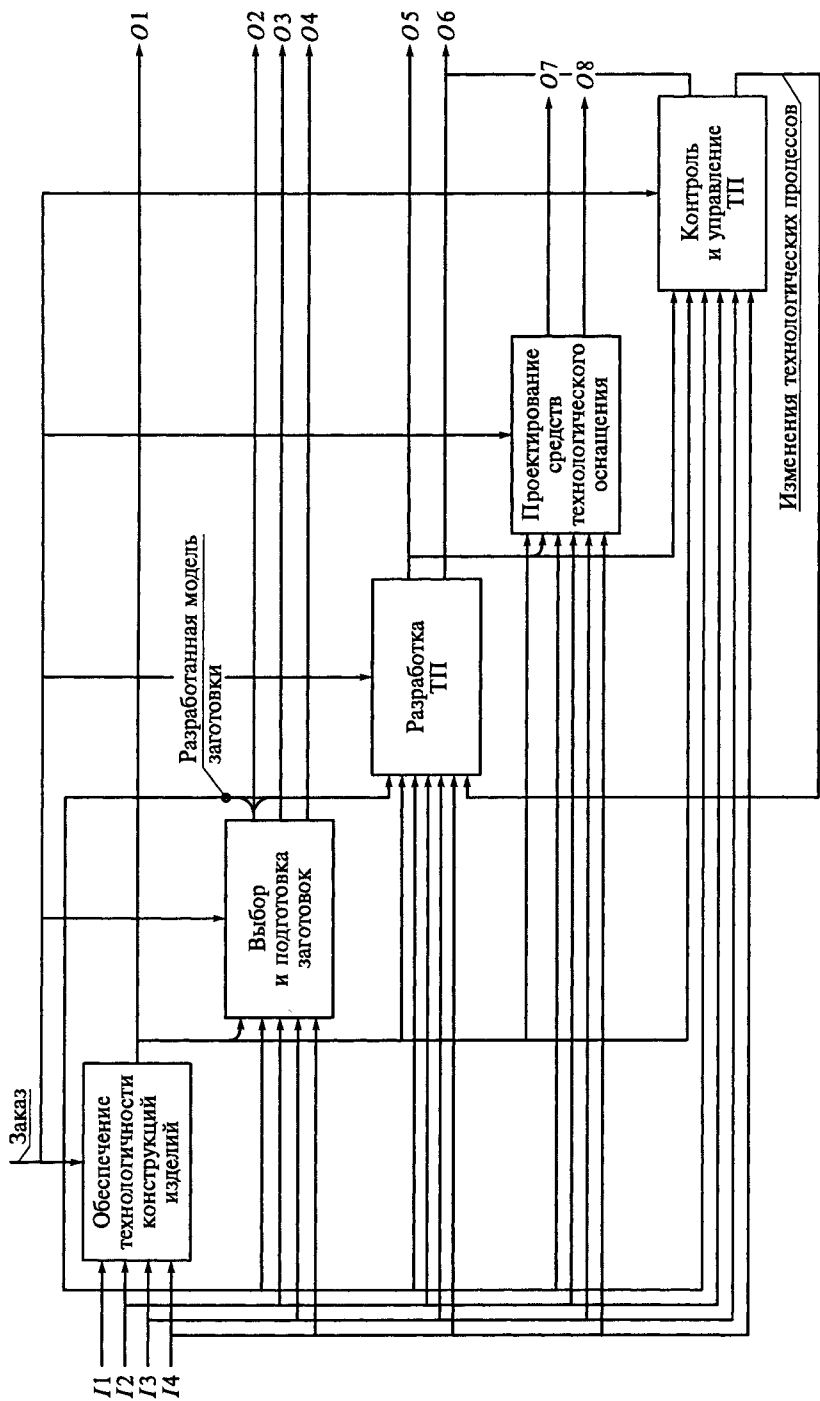



Рис. 1.3. Общая структура системы ТПП:

I1 — рабочая конструкторская документация на изделие; *I2* — рабочая конструкторская документация на директивную заготовку; *I3* — объем выпуска изделий; *I4* — информационное обеспечение; *O1* — модели (чертежи) изделий, отработанных на технологичность; *O2* — разработанная модель (чертеж) заготовки; *O3* — типовой технологический процесс изготовления заготовки; *O4* — заказ на изготовление заготовки; *O5* — технологические процессы изготовления деталей и сборки; *O6* — изменения конструкций деталей и сборочных единиц; *O7* — заказ на приобретение (изготовление) средств технологического оснащения; *O8* — конструкторская документация на средства технологического оснащения



Конструкции заготовок, используемых при производстве деталей изделия, могут быть разработаны в процессе ТПП предприятия, а сами заготовки изготовлены на данном предприятии. Однако во многих случаях используют директивные заготовки. Их конструкции, как правило, разрабатывают на основании технического задания предприятия — изготовителя изделия. Основным конструкторским документом на директивную заготовку является ее чертеж с техническими требованиями на изготовление. Конструкция директивной заготовки может быть далеко не оптимальной для ТПП изготавливаемой из нее детали. Обычно это происходит, когда предприятие — изготовитель заготовки не располагает технологическими возможностями для удовлетворения требований технического задания, либо когда используется комплексная заготовка, предназначенная для изготовления на ее основе нескольких различных деталей. В указанных случаях ТПП может существенно усложниться.

Информационное обеспечение ТПП может быть разделено на инвариантное функциям ТПП и функционально-ориентированное.

Инвариантное функциям ТПП информационное обеспечение включает в себя:

- данные об имеющемся технологическом оборудовании, используемых технологических методах и процессах, производственных площадях и их загрузке, технологической оснастке и других имеющихся в наличии ресурсах производства;
- текущие технико-экономические показатели предприятия и данные об экономической ситуации на рынке выпускаемой предприятием продукции;
- данные о реальных конструктивно-технологических параметрах поступивших заготовок и уже выпущенных изделий, полученные по результатам входного контроля заготовок и приемочного контроля изделий (например, опытной партии);
- оперативную информацию о ходе реализованных ТП, включающую данные операционного контроля ТП или обрабатываемой заготовки после завершения определенной технологической операции;

- общие методы принятия технологических решений и их оптимизации.

Компонентами функционально-ориентированного информационного обеспечения ТПП являются:

- правила выбора показателей обеспечения технологичности конструкций изделий, сборочных единиц — для функции обеспечения технологичности конструкции изделий;

- правила выбора вида, метода изготовления и конструирования исходных заготовок — для функции выбора и подготовки заготовок;

- правила разработки и применения ТП, выбора оборудования и других средств технологического оснащения — для функции разработки ТП;

- правила проектирования — для функции проектирования средств технологического оснащения;

- методы выявления причин отклонений хода ТП, методы и правила принятия и реализации технологических решений по ликвидации отклонений в ходе ТП — для функции контроля и управления.

Выходные данные системы ТПП представляют в виде соответствующих технологических и конструкторских документов или изменений указанных документов. К основным выходным результатам ТПП относят:

- модели (чертежи) изделий (деталей, сборочных единиц), отработанных на технологичность;

- модель/чертеж заготовки (разработанная);

- типовой ТП изготовления заготовки;

- заказ на изготовление заготовки;

- ТП изготовления деталей и сборки;

- изменения конструкций деталей и сборочных единиц;

- заказ на приобретение (изготовление) средств технологического оснащения;

- конструкторскую документацию на средства технологического оснащения;

- изменения ТП изготовления деталей и сборки.

Модели (чертежи) изделий (деталей, сборочных единиц), отработанных на технологичность, формируются в результате выполнения соответствующей функции ТПП. Модель (чертеж) заготовки может быть разработана при выполнении функции выбора и подготовки заготовок, хотя это не является обязательной задачей ТПП (например, при ТПП, проводимой в механосборочных цехах машиностроительных предприятий). В последнем случае создают чертежи заготовок относительно несложных конструкций, не требующих глубоких специальных знаний по их формообразованию. Конструкции сложных заготовок разрабатывают специализированные службы ТПП заготовительных цехов. При ТПП, проводимой,

например, в механосборочных цехах, разрабатывают только относительно несложные ТП изготовления заготовок (как правило, из проката с использованием методов отрезки, правки, гибки и т. д.), используя при этом типовые ТП изготовления заготовок.

Заказ на изготовление заготовки в форме, принятой на данном предприятии, направляют в заготовительные подразделения или используют в качестве основы для составления технического задания на изготовление заготовки специализированным предприятием.

Технологические процессы изготовления деталей и сборки представляют:

- технологическая документация на разработанные ТП изготовления деталей;
- управляющие программы для оборудования с ЧПУ и сопроводительная технологическая документация;
- технологическая документация на разработанные ТП сборки узлов и изделий.

Изготовление изделий машиностроения может быть осуществлено на основе единичных, типовых или групповых ТП.

Единичный ТП, как правило, разрабатывают индивидуально для конкретной детали. Его структуру и содержание технологических операций определяют на основании конструктивно-технологических параметров детали и исходной заготовки, технологических возможностей и ресурсов производства.

Типовой ТП создают для группы изделий, обладающих общностью конструктивных признаков. В группе деталей выделяют типовую деталь. Под типом подразумевают совокупность объектов (заготовок, сборочных единиц) одного класса, имеющих в определенных производственных условиях общий маршрутный ТП изготовления (механической обработки и сборки). Общий маршрутный ТП — это процесс, осуществляемый одинаковыми методами (однородное оборудование, одинаковое число установов, приспособлений и инструментов). В пределах типа допускаются некоторые отклонения в порядке изготовления (обработки, сборки). Возможны исключения или добавления некоторых нехарактерных переходов и даже операций.

В результате анализа множества действующих и возможных ТП изготовления изделия-представителя устанавливают содержание и последовательность большинства технологических операций для данной группы изделий (типовой ТП). Разработку типовых ТП осуществляют на отраслевом уровне, а также на уровне предприятия в соответствии с общими правилами разработки ТП и правилами разработки и применения типовых ТП.

Групповой ТП предназначен для совместного изготовления или ремонта группы изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах.

Главной технологической единицей групповой обработки является группа, в нее объединяют детали, характеризующиеся общностью типов оборудования, необходимого для обработки заготовки в целом или отдельных ее поверхностей. Классы заготовок разделяют по видам обработки (токарная, сверлильная, фрезерная и т. п.), по видам заготовок.

Групповую технологическую операцию разрабатывают для выполнения технологически однородных работ при изготовлении группы изделий на специализированном рабочем месте при возможности частичной подналадки средств технологического оснащения. Групповая технологическая операция может быть разработана и применена как составная часть группового ТП (маршрута), либо как однооперационный групповой ТП (отдельная групповая операция). Групповые ТП разрабатывают для всех типов производства только на уровне предприятия в соответствии со стандартами.

Принципиальное отличие между типовыми и групповыми процессами заключается в следующем: типовая технология характеризуется общностью технологического маршрута, а групповая — общностью оборудования и оснастки, необходимых для выполнения определенной операции или полного изготовления детали. Типовые и групповые ТП называют процессами-аналогами.

Любой ТП можно рассматривать как целенаправленную систему, элементами которой являются технологические операции. Список технологических операций определяет состав ТП, а список основных технологических переходов — состав технологической операции. Структуру ТП определяет порядок выполнения технологических операций, а структуру технологической операции — порядок выполнения переходов.

Для ТП изготовления деталей характерна линейно-последовательная структура. Каждая операция выполняется в строго определенном месте ТП и не может быть выполнена, пока не выполнена смежно-предшествующая операция. Такая структура ТП изготовления деталей позволяет при необходимости, например, в крупносерийном и массовом производствах, устанавливать технологическое оборудование по «ходу» ТП и применять непрерывно- или переменного-поточный методы работы.

Состав и структура ТП сборки зависят от сложности собираемого объекта (предмета производства) и его технологической структуры. Для относительно простых объектов — сборочных единиц, которые можно изготовить при выполнении лишь ТП общей сборки, рассматриваемые процессы имеют линейно-последовательную структуру, как и процессы несложной узловой сборки, рассматриваемые отдельно. Вместе с тем, ТП сборки машин, представляемые совокупностью процессов узловой и общей сборки, могут иметь сложные древовидные структуры.

Результаты разработки ТП представляют в технологической документации и оформляют в соответствии с требованиями стандартов ЕСТПП.

Содержание технологических операций представляют в форме маршрутного или операционного описания. Первое применяют в единичном и опытном производствах, второе — в массовом и серийном. Допускается использовать операционное (маршрутно-операционное) описание в единичном и массовом производствах. При записи содержания операции (перехода) допускается полная или сокращенная форма. Полную запись применяют при отсутствии графических изображений (например, при отсутствии карты эскизов) и для комплексного отражения всех действий, выполняемых исполнителем или исполнителями. Сокращенную запись применяют при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают необходимую информацию по обработке или сборке изделия.

Стандартами предусмотрены следующие виды технологических документов:

- маршрутная карта (МК) — для описания единичных, типовых и групповых ТП и операций;
- карта эскизов (КЭ) — для графических изображений к документам и указания наладок, позиций, установок, таблиц и схем;
- карта технологического процесса (КТП) — для операционного описания при разработке единичных и типовых (групповых) ТП;
- карта типового ТП (КТТП) — для операционного описания типовых ТП;
- операционная карта (ОК) — для описания единичных, типовых и групповых операций;
- ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) ТП (ВТП) или операции (ВТО) — для указания переменной информации к типовому или групповому ТП (групповой или типовой операции) по каждой детали (сборочной единице), входящей в соответствующий ТП или операцию;
- ведомость технологических документов (ВТД) — для указания состава деталей (сборочных единиц), обрабатываемых по типовому или групповому ТП, и документов, содержащих соответствующую информацию;
- карта наладки инструмента (КН/И) — для указания полного состава вспомогательного и режущего инструмента в технологической последовательности его применения совместно с документом, содержащим описание операции (МК, КТП, ОК);
- карта кодирования информации (ККИ) — для кодирования информации при разработке управляющих программ (применяется совместно с МК, КЭ, КТП и ОК).

При использовании станков с ЧПУ по усмотрению разработчика технологической документации также применяют карту за-

каза на разработку управляющей программы (КЗ/П) и ведомость обрабатываемых на станках с ЧПУ деталей (ВОД). На специальные и стандартные приспособления и инструменты, необходимые для оснащения ТП изготовления деталей и сборки, составляют ведомость оснастки (ВО).

Кроме того, в состав технологической документации могут входить: комплектовочная карта (КК), ведомость операций (ВОП), ведомость сборки изделия (ВСИ), карта технологической информации (КТИ).

При разработке ТП изготовления деталей и сборки изделий могут быть выявлены конструкторские ошибки, несоответствия назначенных технических требований фактическим условиям изготовления и эксплуатации изделия; предложены новые варианты конструктивных решений, повышающие технологичность изделия. Во всех указанных случаях технологи-разработчики могут вносить предложения по изменениям конструкций деталей и сборочных единиц в службу конструкторской подготовки. Если изменения принимаются, что требует иногда согласования с заказчиком изделия, то их в установленном стандартами порядке вносят в конструкторскую документацию. При невозможности внесения изменений в конструкцию службы конструкторской и технологической подготовки совместно находят компромиссное решение, позволяющее обеспечить выпуск изделия в соответствии с заданными техническими требованиями.

При ТПП выбирают универсальные или проектируют специальные и специализированные средства технологического оснащения (технологическую оснастку, режущий и вспомогательный инструмент, средства контроля и испытаний). Если средства выбирались, то оформляют заказ на поиск и (или) приобретение универсальных или специализированных средств, если они проектировались, то заказ представляют в форме технического задания на их изготовление. В последнем случае заказ сопровождается необходимой конструкторской документацией и прежде всего чертежами и спецификациями спроектированных средств технологического оснащения.

Целью функции контроля и управления ТП является обеспечение выходного качества изделий, изготавливаемых на основании разработок, полученных в результате ТПП. При реализации указанной функции осуществляют, во-первых, контроль качества разработок и прежде всего ТП, полученных в результате ТПП, при внедрении их в производство, и, во-вторых, систематический контроль хода ТП в установленном производстве (контроль выполнения технических требований и принятия необходимых решений с целью их обеспечения).

Контроль качества разработанных ТП единичного производства и их приемку проводят на этапах изготовления и испытания пер-

вых образцов изделия. Контроль качества разработанных ТП серийного и массового производства и их приемку осуществляют на этапах изготовления и испытания установочной серии изделий, а также изготовления и испытания головной (контрольной) серии изделий.

При испытании установочной серии изделий определяют подготовленность разработанного ТП к выпуску изделий в объеме, установленном для данного этапа, и возможности применения этого процесса для изготовления головной (контрольной) серии изделий. При испытании головной (контрольной) серии изделий проверяют точность, стабильность и надежность полностью оснащенного ТП, качество и надежность изделий, изготовленных с применением данного ТП. В ходе выполнения указанной функции можно вносить предложения по изменению конструкций деталей и сборочных единиц с целью повышения их технологичности, а также по изменению ТП изготовления деталей и сборки. В случае принятия таких предложений, их, в установленном порядке, вносят в конструкторскую и технологическую документацию.

Представленная на рис. 1.3 структура ТПП отражает только основные информационно-функциональные связи. В ходе практического выполнения ТПП могут возникать ситуации, требующие взаимодействия таких функций, которые при штатном выполнении ТПП не предусмотрены. Так, при выполнении функции контроля и управления ТП может возникнуть необходимость изменения конструкций средств технологического оснащения (приспособлений, режущего инструмента и т. п.) или даже их замены. В этом случае предложения о необходимых изменениях поступают в службу проектирования средств технологического оснащения для их практической реализации.

1.2. Автоматизация поддержки жизненного цикла изделий машиностроения

Конструкции машин непрерывно совершенствуются, а условия их эксплуатации — усложняются. Требования потребителей к качеству изделий машиностроения растут. За XX в. точность изготовления некоторых элементов машин увеличилась почти в 2 000 раз. Качество современных машиностроительных изделий характеризуют, например:

- точность размеров основных поверхностей деталей — до 3-го качества;
- допустимые отклонения формы поверхностей деталей: от плоскостности 0,2... 2,0 мкм, от круглости 0,2... 1,0 мкм;
- шероховатость поверхностей деталей Ra 0,1... 0,0075 мкм.

Технологические решения, принятые при ТПП, определяют эффективность производства, а время, затрачиваемое на ТПП —

суммарную длительность ПТЦ и соответствующие затраты. Анализ отображенных на рис. 1.4 тенденций показывает следующее:

- наблюдается объективный рост длительности ПТЦ, которую определяет постоянно увеличивающаяся длительность ТПП;
- непрерывно увеличивается длительность этапа разработки конструкций изделий, которые становятся все более наукоемкими —

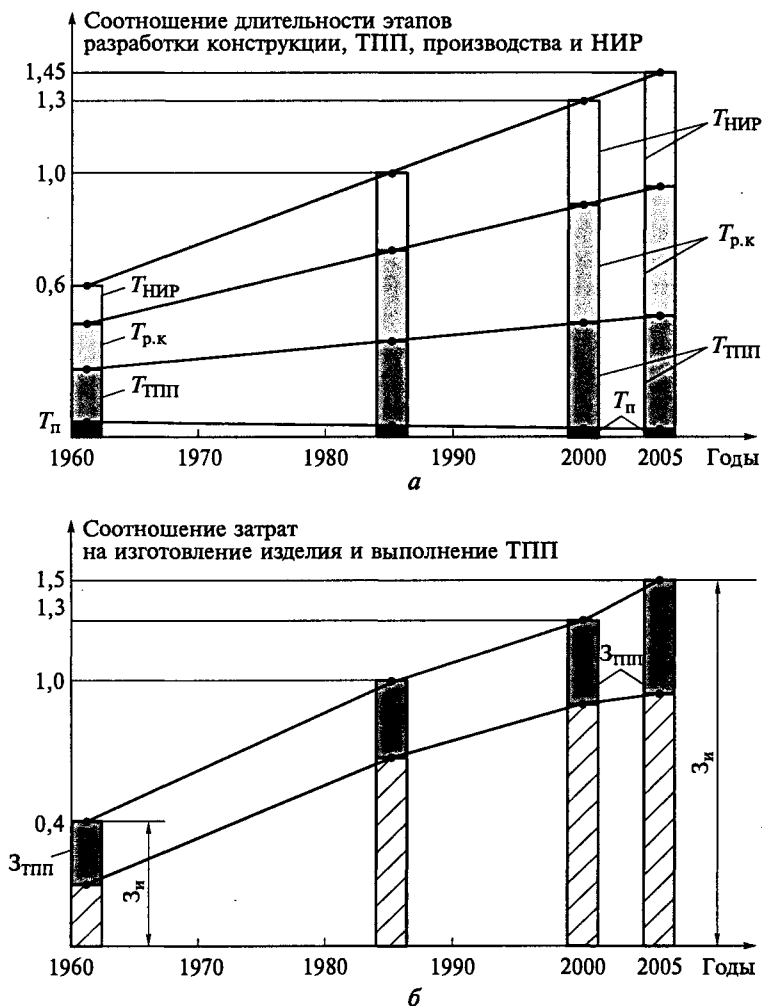


Рис. 1.4. Тенденции изменения соотношений:

а — длительности этапов разработки конструкции ($T_{\text{р.к}}$), ТПП ($T_{\text{ТПП}}$), производства ($T_{\text{п}}$), НИР ($T_{\text{НИР}}$); *б* — затрат на изготовление изделия ($Z_{\text{и}}$) и выполнение ТПП ($Z_{\text{ТПП}}$)

для их создания необходимо проведение все более возрастающего объема научно-исследовательских работ (НИР);

- затраты на ТПП непрерывно увеличиваются, их доля в суммарных затратах на изготовление изделия также возрастает.

Усложнение конструкций изделий машиностроения, рост требований к их качеству, усложнение условий их эксплуатации, необходимость сокращения длительности ПТЦ требует принятия сложных и эффективных решений в минимальные сроки. Это возможно лишь при автоматизации процесса принятия (поддержки) решений, что нашло отражение в появлении нового класса автоматизированных информационных систем — систем поддержки решений (Decision Support Systems — DSS). Системы поддержки решений ориентированы не на полную автоматизацию функций лица, принимающего решения, а на предоставление ему необходимой информационной или даже интеллектуальной помощи в поиске наилучшего, наиболее эффективного в заданном смысле решения. Современные информационные технологии дают принципиальную возможность создания интегрированной системы поддержки решений для всего ЖЦИ. Последнее нашло отражение в разработке, так называемых, CALS-технологий (Computer Aided Acquisition and Life-Cycle Support — CALS) переводится как «информационная поддержка жизненного цикла изделия».

CALS-технологии — современные информационные технологии, обеспечивающие автоматизированную поддержку решений на отдельных этапах ЖЦИ, а также информационную интеграцию всех его этапов. Впервые концепция CALS возникла в середине 70-х гг. XX в. в оборонном комплексе США в связи с необходимостью повышения эффективности управления и сокращения затрат на информационное взаимодействие в процессе заказов, поставок и эксплуатации средств вооружения. Доказав свою эффективность, CALS-технологии начали активно применяться в промышленности, расширяясь и охватывая все этапы ЖЦИ — от маркетинга до утилизации. Сегодня концепция CALS является глобальной стратегией повышения эффективности процессов, выполняемых на этапах ЖЦИ за счет информационной интеграции и преемственности информации, порождаемой на всех этапах. Средствами реализации этой стратегии являются CALS-технологии, в основе которых лежит набор интегрированных информационных моделей — самого ЖЦИ и выполняемых в его ходе процессов, продукта (изделия), производственной и эксплуатационной среды и пр. Возможность совместного использования информации обеспечивается применением компьютерных сетей и стандартизацией форматов данных. Используют единую интегрированную модель изделия и его ЖЦИ, выступающих в роли источника информации для любых, выполняемых в ЖЦИ процессов. CALS-технологии состоят из набора приемов, методических и программных инструмен-

тов. К методическим инструментам относят прежде всего комплект международных и национальных стандартов, регламентирующих представление изделия и его ЖЦИ на концептуальном и логическом уровнях. Использование стандартов обеспечивает интеграцию данных, относящихся к различным этапам ЖЦИ, за счет унификации их представления.

Чтобы достичь должного уровня взаимодействия промышленных, автоматизированных и информационных систем, требуется создание единого информационного пространства не только на отдельных предприятиях, но и, что более важно, в рамках объединения предприятий. Единое информационное пространство создается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла.

Унификации формы достигают использованием стандартных форматов и языков представления информации при документировании и межпрограммных обменах. Унификация содержания, понимаемая как однозначная правильная интерпретация данных о конкретном изделии на всех этапах его жизненного цикла, обеспечивается разработкой приложений, закрепляемых в прикладных CALS-протоколах. Система международных CALS-стандартов весьма обширна и разветвлена. Центральное место в ней занимает стандарт ISO 10303 (STEP), определяющий средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех этапах жизненного цикла.

Единообразная форма описаний данных о промышленной продукции обеспечивается использованием в STEP языка EXPRESS, инвариантного к приложениям. Созданы единые информационные модели целого ряда приложений, получившие название прикладных протоколов.

Стандарт ISO 10303 состоит из ряда документов (томов), в которых описаны его основные принципы и язык EXPRESS, приведены методы реализации, модели и ресурсы как общие для приложений, так и некоторые специальные (например, геометрические и топологические модели, описание материалов, процедуры черчения, метод конечно-элементного анализа и т.п.), прикладные протоколы, отражающие специфику моделей в конкретных предметных областях, методы тестирования моделей и объектов. Удовлетворению требований создания открытых систем уделяется основное внимание — специальный раздел посвящен правилам написания файлов обмена данными между разными системами, созданными в рамках CALS-технологии.

Семейство отечественных CALS-стандартов значительно малочисленнее. Среди принятых можно отметить группу стандартов «Системы автоматизации производства и их интеграция» включающую в себя:

ГОСТ Р ИСО 10303-1—99 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы»;

ГОСТ Р ИСО 10303-21—99 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 21. Методы реализации. Кодирование открытым текстом структуры обмена»;

ГОСТ Р ИСО 10303-41—99 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 41. Интегрированные обобщенные ресурсы. Основы описания и поддержки изделий»;

ГОСТ Р ИСО 10303-11—2000 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS»;

ГОСТ Р ИСО 10303-12—2000 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 12. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS-1»;

ГОСТ Р ИСО 10303-45—2000 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 45. Интегрированные обобщенные ресурсы. Материалы».

Соблюдение CALS-стандартов устанавливает известные ограничения на принципы создания и применения программных средств, используемых на различных этапах ЖЦИ: указанные средства должны быть CALS совместимыми, т. е. разработанными на общей (единой) методической базе. CALS-технологии не отвергают, в принципе, автоматизированные системы проектирования и управления, а являются средством обеспечения их эффективного взаимодействия. Поэтому интеграция автоматизированных систем на современных предприятиях должна быть основана на CALS-технологиях. Их внедрение требует освоения имеющихся технологий и CALS-стандартов, развития моделей, методов и программ автоматизированного проектирования и управления.

Системы автоматизации, используемые на различных этапах ЖЦИ, весьма разнообразны и включают соответствующие программные компоненты:

- CAE — Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);
- CAD — Computer Aided Design (автоматизированное проектирование изделий);
- CAM — Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);

- CAPP — Computer Aided Process Planning (автоматизированное проектирование технологических процессов);
- CAAP — Computer Aided Assembly Planning (автоматизированное проектирование процессов сборки);
- PDM — Product Data Management (управление проектными данными о продукте (изделии));
- PLM — Product Life Cycle Management (управление жизненным циклом изделия);
- ERP — Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);
- MRP-2 — Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства);
- MES — Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);
- SCM — Supply Chain Management (управление цепочками поставок);
- SCADA — Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);
- CNC — Computer Numerical Control (компьютерное числовое управление);
- CRM — Customer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);
- S&SM — Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);
- CPC — Collaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес).

Современные САПР К (или системы CAD; CAE/CAD), обеспечивающие сквозное проектирование сложных изделий или, по крайней мере, выполняющие большинство проектных процедур, имеют модульную структуру. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи применительно к тем или иным типам устройств и конструкций.

Системы САМ призваны решать отдельные задачи проектирования ТП (построение операций; выбор оборудования, инструмента; оснастки и т. п.), а также обеспечивать подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ. Модули системы САМ часто входят в состав развитых (интегрированных) САПР, называемых системами CAD/CAM, или CAE/CAD/CAM. Основные функции современных систем САМ сосредоточены, в основном, на автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Проектирование ТП изготовления деталей обеспечивают системы CAPP, а сборки — системы CAAP. Системы САМ, CAPP, CAAP относят к САПР ТП. Системы CAPP и CAAP могут входить в интегрированные САПР, например, системы CAE/CAD/CAM/CAPP.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения применяют системы управления проектными данными об изделии — системы PDM. Они либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР, например, CAD/CAM/CAPP/PDM.

Функции управления на промышленных предприятиях выполняют автоматизированные системы на нескольких иерархических уровнях. Автоматизацию управления на верхних уровнях от корпорации (производственных объединений предприятий) до цеха осуществляют системы ERP или MRP-2.

Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на функции, непосредственно связанные с производством. Они контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание ТП. Их чаще всего называют системами промышленной автоматизации. Для выполнения диспетчерских функций (сбора и обработки данных о состоянии оборудования и ТП) и разработки программного обеспечения для встроенного оборудования в состав рассматриваемых систем вводят систему SCADA. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), встроенных в технологическое оборудование.

На этапе реализации продукции выполняют функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводят анализ рыночной ситуации, определяют спрос на планируемые к выпуску изделия. Эти задачи решают с помощью систем CRM. Маркетинговые функции и управление обслуживанием иногда возлагают на систему S&SM.

На этапе эксплуатации применяют специализированные компьютерные системы, для проведения ремонта, контроля и диагностики эксплуатируемых изделий. Обслуживающий персонал может использовать интерактивные учебные пособия и технические руководства, а также программы автоматизированного поиска неисправностей, средства дистанционного консультирования и программы автоматизированного заказа деталей взамен отказавших.

Функции некоторых автоматизированных систем часто перекрываются. В частности, это относится к системам ERP и MRP-2. Управление маркетингом может быть «поручено» как системе ERP, так и системе CRM или S&SM.

На решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом ориентированы системы MES. Они близки по некоторым выполняемым функциям к системам ERP, PDM, SCM, S&SM и отличаются от них оперативностью, принятием решений в реальном времени, причем важное значение придается оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов. Перечисленные автоматизированные системы могут работать автономно, и в настоящее время так обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны другим системам, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Более подробно с CALS-технологиями можно познакомиться в специальной литературе, например, в [1].

Обеспечивая информационную поддержку и интеграцию решений, принимаемых и реализуемых на различных этапах ЖЦИ, методический и программный инструментарий CALS-технологий прямо и непосредственно участвует в обеспечении качества изделий как в ПТЦ, так и в ЖЦИ в целом.

В основу разработки эффективных систем автоматизации ТПП должны быть положены следующие базовые принципы:

- комплексный подход к выполнению основных функций и решению основных задач ТПП;
- открытость системы, информационная интеграция с другими системами автоматизированной поддержки ЖЦИ, соответствие разрабатываемой системы CALS-стандартам;
- системы должны создаваться как совокупность ряда подсистем, работа которых подчинена общей цели. Подсистемы при работе взаимодействуют друг с другом, и, следовательно, каждая из них не должна разрабатываться независимо от других;
- система должна быть развивающейся, а развитие направлено на повышение ее эффективности путем сокращения сроков, повышения качества и экономии средств при разработке новых конкурентоспособных изделий.

Автоматизированные системы ТПП, в полной мере отвечающие представленным принципам и требованиям пользователей, в настоящее время еще не разработаны. Их создание представляет серьезную, актуальную научно-техническую проблему, которая еще не решена.

Состояние поддержки решений, принимаемых при выполнении отдельных функций и задач ТПП, различно (рис. 1.5). Наибольшие усилия прилагаются для автоматизации поддержки проектных технологических решений, прежде всего связанных с проектированием ТП и средств технологического оснащения, что нашло отражение в создании и промышленном применении соответствующих систем автоматизации: САПР ТП и САПР К.

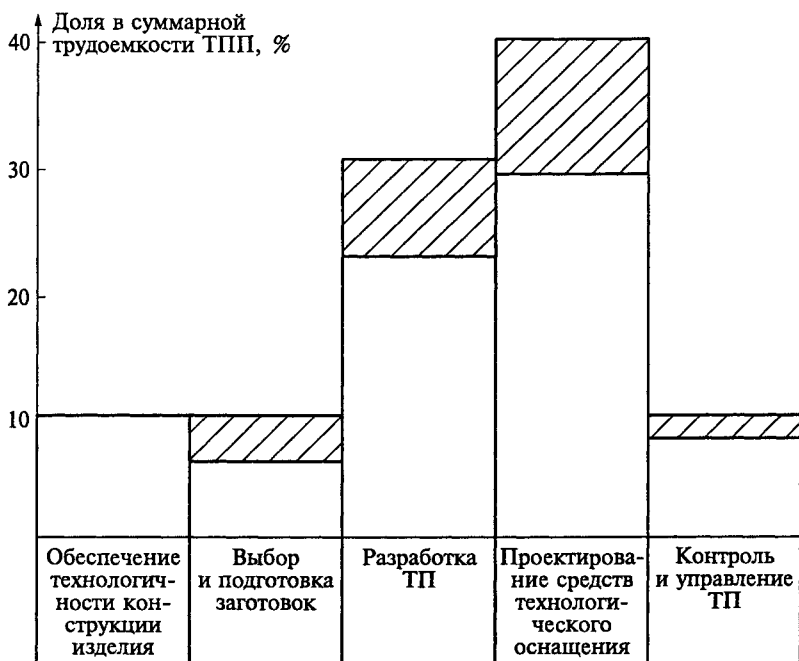


Рис. 1.5. Оценка полноты автоматизации основных функций ТПП (заштрихована доля трудоемкости работ, выполняемых в автоматизированном режиме)

Недостаточно высокий общий уровень современной автоматизации ТПП объясняется тем, что технологические решения, подчиняясь общим закономерностям принятия решений, имеют ряд особенностей, обусловленных:

- преобладанием в предметной области технологии машиностроения описательных форм представления знаний при минимальном числе вскрытых строгих аналитических зависимостей;
- сложной логикой суждения, взаимными влияниями различных факторов и большой размерностью задач, например, для автоматизации выбора режима резания необходимо определить более 1 000 переменных различных типов;
- большой ролью знаний, полученных из опыта (эмпирических знаний), и наличием скрытых объективных законов;
- необходимостью взаимодействия при принятии решений со сложными информационными потоками, состоящими из большого числа переменных различных типов, раскрывающих сущность технологии (характеристики оборудования, инструмента, оснастки; параметры режимов резания; данные о свойствах материалов и т.д.);
- итерационным характером процесса принятия технологических решений: решение обычно формируется путем последователь-

ного приближения к наиболее приемлемому для заданных условий результату.

Большинство задач, выполняемых при ТПП, являются трудно- или неформализуемыми. Для их решения пока не могут быть предложены формальные (базирующиеся на использовании зависимостей, представляемых с помощью формул) алгоритмы. Алгоритм — строгая последовательность формальных процедур, выполнение которых гарантированно ведет к получению искомого решения. Все сказанное в полной мере относится к проектированию ТП изготовления изделий, являющемуся важнейшей функцией ТПП.

1.3. Современное состояние автоматизации проектирования технологических процессов изготовления машин

Системы автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления изделий машиностроения способствуют выполнению важнейшей функции при поддержке решений, принимаемых и реализующихся в ЖЦИ (см. рис. 1.1). Эти системы должны обеспечивать:

- проектирование ТП изготовления деталей;
- подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ;
- проектирование ТП сборки изделий.

Основная идея, положенная в основу автоматизации проектирования ТП, может быть сформулирована следующим образом: при заданной (и введенной в автоматизированную систему) информации о конструктивно-технологических параметрах предмета производства (детали, сборочной единицы, изделия), данных о производственных условиях и ресурсах, объеме выпуска изделий и т. д., система должна обеспечить проектирование и выдачу в заданных форматах ТП, пригодного для реализации в заданных производственных условиях, при минимальном приложении интеллекта специалиста. Качество полученного проектного решения должно быть не ниже, чем при его формировании специалистом соответствующей квалификации.

Изготовление конкретного изделия всегда осуществляют по единичному ТП. Поэтому, спроектированный с помощью рассматриваемой системы процесс чаще всего должен быть единичным. Проектирование единичного процесса может осуществляться либо только на основе описания конструктивно-технологических параметров предмета производства (индивидуальное проектирование), либо на основе ТП-аналогов (типовых и групповых). В соответствии с этим, различают САПР ТП, обеспечивающие автоматизированный синтез структур единичных процессов и САПР ТП, использу-

ющие ТП-аналоги. Однако и в последнем случае, результатом работы системы является единичный ТП.

Исторически усилия большинства исследователей и разработчиков направлялись на создание САПР ТП изготовления деталей. Теория и практика автоматизации проектирования ТП изготовления деталей наиболее разработаны. Вместе с тем в настоящее время практически отсутствуют полноценные системы, позволяющие осуществлять автоматизированный синтез единичных ТП (прежде всего — маршрутных) на основании конструктивно-технологических моделей детали и исходной заготовки. Это объясняется сложностью, наличием трудноформализуемых этапов проектирования ТП, недостаточной разработанностью теории синтеза структур сложных систем. Однако объективная потребность в автоматизации синтеза структур ТП неуклонно возрастает, что объясняется:

- необходимостью постоянного поиска новых технологических решений, позволяющих повысить конкурентоспособность изделий;
- желанием получать альтернативные варианты ТП с последующим их отбором и оптимизацией;
- стремлением максимально адаптировать ТП к изменениям производственной ситуации (нарушения заданного процесса, выход из строя оборудования, внесение изменений в конструкцию изделия и ТП) с целью гарантированного обеспечения качества изделия.

В последнем случае автоматизированный синтез ТП применяют не только для проектирования при ТПП, но и при непосредственном производстве для обеспечения качества технологических решений при их реализации.

Особенно актуально создание синтезирующих САПР единичных ТП изготовления деталей для производственных систем многономенклатурного (единичного и среднесерийного) производства. В мировом машиностроении около 85 % всех предприятий являются предприятиями именно с единичным и среднесерийным производством, причем доля этих предприятий постоянно увеличивается. Машиностроение становится все более многономенклатурным — это одна из основных тенденций его современного развития. На долю индивидуального проектирования единичных ТП изготовления изделий машиностроения приходится до 60 % объема всех задач проектирования ТП. Около 40 % приходится на долю задач проектирования, решаемых с использованием ТП-аналогов.

Любая производственная система обладает ограниченными технологическими возможностями и ресурсами. Автоматизация синтеза единичных ТП позволяет в максимальной степени учесть имеющиеся производственные ресурсы и наиболее эффективно использовать их. Синтезирующие САПР единичных ТП должны:

- удовлетворять основным принципам построения систем автоматизации ТПП;

- обеспечивать формирование единичных ТП (включая маршрутную и операционную технологию) изготовления деталей, независимо от класса последних, а лишь на основании их конструктивно-технологических характеристик, требований к качеству, данных об условиях изготовления и используемых при этом ресурсах;
- обеспечивать выдачу результатов проектирования в форматах, указываемых пользователем и соответствующих требованиям ЕСТПП.

В основу создания САПР ТП изначально были положены идеи формализации процедур проектирования и, в целом, копирования действий человека — технолога — проектировщика ТП. Трудно- и неформализуемые этапы проектирования предполагалось выполнять в режиме диалога проектировщика с системой. При разработке САПР зачастую игнорировалось принципиальное различие процессов формирования решений в результате алгоритмического (процедурного) выполнения некоторой задачи (например, расчета припусков на механическую обработку, определения штучного времени и т.п.) и решений, принятие которых невозможно без участия специалиста.

При создании синтезирующих САПР единичных ТП принцип копирования действий человека-проектировщика несостоятелен вследствие ряда причин:

- особенности мыслительной деятельности человека (зрительное распознавание и восприятие геометрических образов, ассоциативное мышление, умение мыслить по аналогии и т.д.) в настоящее время исследованы недостаточно. Формализуется, как правило, лишь малая часть внешних (результативных) проявлений этой деятельности. Оставшаяся часть, определяющая основное содержание указанной деятельности человека, находится вне возможностей современной формализации, что, естественно, резко обедняет возможности создаваемых систем;

- современные информационные технологии дают ряд возможностей и преимуществ, которыми не обладает человек: возможность практически мгновенного перебора и селекции огромного числа вариантов решений, методы обработки нечисловой информации (ассоциативный выбор в базах данных, обработка списков и т.д.). Это позволяет организовать процедуры, не выполняющиеся человеком при неавтоматизированном проектировании ТП, но способствующие при автоматизации проектирования достижению его целей.

Отказ от копирования действий человека при работе САПР ТП снимает многие ограничения, накладываемые на систему и действия ее разработчика, например, необходимость технологической понятности каждого из выполняющихся этапов создания системы. Вместе с тем апробированная общая последовательность выполнения отдельных этапов проектирования ТП должна быть сохранена при работе САПР ТП.

Дальнейшее совершенствование автоматизированного технологического проектирования прямо зависит от решения проблемы автоматизированного синтеза структур технологических объектов, в частности, ТП. Создание полноценных автоматизированных систем синтеза единичных ТП позволит оснастить производственные системы мощными средствами поддержки технологических решений, функционирующими в режиме реального времени производственной системы.

Приближенные оценки соотношений долей трудоемкости проектных работ, выполняющихся в автоматизированном режиме при индивидуальном проектировании единичных ТП изготовления деталей, приведены в табл. 1.1. Эти оценки отражают современный уровень автоматизации проектирования указанных ТП и свидетельствуют о недостаточной разработанности САПР ТП, осуществляющих индивидуальное проектирование процессов изготовления деталей машин. Создание полноценных САПР ТП данного класса является делом будущего.

Проектирование единичного ТП изготовления конкретной детали на основе аналогов выполняют по следующей схеме:

- проводят поиск ТП-аналога (обычно это типовой, реже — групповой ТП);
- выполняют корректировку ТП-аналога на основе сравнения конструкции и технологических параметров типовой и конкретной деталей, т. е. включают в базовый ТП-аналог дополнительные технологические операции или, наоборот, исключают ненужные.

В результате получают единичный ТП изготовления конкретной детали. Принципиальным отличием такого проектирования от индивидуального является замена процедуры создания (синтеза) структуры процесса поиском аналога и его корректировкой. Качество спроектированного ТП в последнем случае определяется качеством поиска аналога и его корректировки.

Таблица 1.1. Соотношение трудоемкостей основных этапов индивидуального проектирования единичных ТП изготовления деталей

Этап проектирования	Доля в общей трудоемкости проектирования ТП, %	Доля трудоемкости работ, выполняющихся в автоматизированном режиме, от трудоемкости работ этапа, %
Разработка технологии:		
маршрутной	25 ... 45	Близка к 0
операционной	50 ... 60	35 ... 45
Техническое нормирование	5 ... 10	100

Методология создания САПР ТП на основе аналогов разработана значительно глубже, чем САПР ТП, осуществляющих автоматизированный синтез единичных процессов. Известен ряд примеров реализации САПР ТП данного класса, различающихся полнотой удовлетворения потребностей пользователя и построенных по единому принципу. Однако при создании подобных систем существует ряд нерешенных научно-технических задач, например:

- классификации — выделение необходимого и достаточного множества конструктивно-технологических признаков, на базе которых конкретная деталь с достаточной достоверностью может быть отнесена к определенному классу;
- выбора (коррекции) схем установки заготовок при выполнении технологических операций.

Подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ в настоящее время можно считать полностью автоматизированной подфункцией ТПП. Разработано значительное число систем автоматизированного программирования, позволяющих получать управляющие программы высокого качества независимо от используемого постпроцессора системы ЧПУ. Подготовку программ выполняют, как правило, в следующей последовательности:

- указывают модель постпроцессора системы ЧПУ;
- на специализированном языке описывают геометрию обрабатываемых на станке с ЧПУ зон заготовки и технологические параметры, соответствующие выполняемой операции;
- по окончании работы системы автоматизированного программирования контролируют полученную управляющую программу.

Системами автоматизированного программирования часто оснащают современные станки с ЧПУ. В этом случае система управления станком работает в мультипрограммном режиме, обеспечивая одновременно и управление станком по уже введенной программе, и подготовку новой управляющей программы.

Системы автоматизированного программирования иногда специализированы по технологическим методам, но достаточно универсальны по типам устройств ЧПУ. К нерешенным научно-техническим задачам, связанным с автоматизацией подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, можно отнести обеспечение качества обработки при подготовке управляющей программы. Прежде всего это автоматизация коррекции траектории относительного движения инструмента или режимов обработки с целью обеспечения заданного качества, в особенности при изготовлении сложных и ответственных деталей.

Автоматизация проектирования ТП сборки изделий в настоящее время является одной из наиболее актуальных, сложных и наименее разработанных проблем современного машиностроения. Число САПР ТП, поддерживающих проектирование процессов сборки, незначительно. Уровень автоматизации проектирования

процессов сборки низок. Это объясняется следующими основными причинами:

- технологические методы сборки по своей сути, в частности — кинематически, сложны. Их практическая реализация отличается большим разнообразием действий, выполнение которых лежит за пределами возможностей современных средств автоматизации;

- процессы сборки имеют ветвящуюся (древовидную) структуру, их отличает исключительная многовариантность и возможность неожиданных для разработчика продолжений;

- сборка является завершающим этапом изготовления машины, поэтому требования к обеспечению ею заданного качества (точности) приобретают особую остроту;

- методы обеспечения заданной точности сборки весьма разнообразны и слабоформализованы, строгие правила их эффективного применения отсутствуют;

- базовые методологические принципы и правила проектирования ТП сборки разработаны недостаточно, процесс проектирования зачастую носит творческий характер и не может быть выполнен без участия специалиста.

Приведенные причины сильно ограничивают возможности формализации при решении задач технологического проектирования сборки изделий. Это, в свою очередь, вызывает серьезные затруднения при разработке САПР ТП сборки. Исключительная актуальность проблемы автоматизации проектирования ТП сборки вызывает необходимость интенсификации исследований в указанной области и унификации их результатов на единой методической базе, основу которой могут составить CALS-стандарты. Последнее обстоятельство исключительно важно для САПР ТП в целом, так как их разработка на единой методической базе существенно облегчает интеграцию указанных систем с другими при автоматизации ТПП.

Контрольные вопросы

1. Что называют ЖЦИ? Перечислите его основные этапы.
2. Что такое ТПП? Укажите ее основные функции.
3. Что включает в себя ПТЦ?
4. Что относят к входной информации для выполнения ТПП?
5. Каковы основные результаты ТПП?
6. Каковы основные виды ТП изготовления изделий в машиностроении? Какие процессы называют процессами-аналогами? Чем они различаются?
7. Перечислите основные документы, используемые при разработке ТП изготовления деталей и сборки.
8. Что такое CALS-технологии?
9. Укажите основной стандарт CALS-технологий. Что он определяет?

10. Перечислите основные системы автоматизации, использующиеся на различных этапах ЖЦИ. Каковы основные функции каждой из них?

11. Каковы основные принципы разработки эффективных автоматизированных систем ТПП?

12. Что такое САПР ТП? Какие функции они выполняют?

13. Дайте характеристику современного состояния автоматизации основных функций САПР ТП.

14. С решением какой научной проблемы связано основное направление совершенствования САПР ТП?

15. Что затрудняет разработку САПР ТП сборки?

2.1. Технологический процесс как объект проектирования

В основу разработки ТП изготовления изделий машиностроения положены два принципа — технический и экономический. В соответствии с первым из них спроектированный процесс должен полностью обеспечить выполнение всех требований конструкторской документации и технических условий приемки изделия. Согласно второму принципу изготовление изделия должно быть осуществлено с учетом минимальных затрат труда и издержек производства.

Проектирование ТП — многовариантная задача. Для изготовления одной и той же детали или сборочной единицы могут быть спроектированы различные ТП, отличающиеся технико-экономическими показателями и, прежде всего, затратами на изготовление и производительностью, а также надежностью обеспечения заданного качества изделия.

Технический и экономический принципы проектирования ТП, отражая различные стороны изготовления машины, находятся в диалектическом противоречии. Разрешение данного противоречия достигается за счет компромисса и оптимизации ТП. Технический принцип должен соблюдаться всегда. Наиболее часто достигают компромисс между производительностью и затратами. При равной производительности сопоставляемых ТП выбирают процесс, обеспечивающий минимум затрат. При равных затратах обычно выбирают более производительный ТП. При разных затратах и производительностях выбирают ТП, обеспечивающий минимум затрат, при условии, что производительность всех сравниваемых вариантов не ниже заданной. При выпуске особо важной продукции или в экстремальных условиях на определенный период времени предпочтение отдают более производительному ТП. Для изделий высокой ответственности, например, газотурбинных авиадвигателей, независимо от типа производства предпочтение отдают ТП, более надежно обеспечивающим заданное качество изготовления.

Если выбор ТП по результатам сравнения отдельных показателей невозможен, используют комплексные критерии (K_k), например:

$$K_k = \frac{Q}{3},$$

где Q — полезный эффект от реализации спроектированного ТП; 3 — затраты на проектирование и реализацию ТП.

В качестве функции полезного эффекта для ТП можно использовать производительность, надежность обеспечения доминирующих показателей качества и т.д. Предпочтительным считают процесс, обеспечивающий $K_k \rightarrow \max$.

Изготовление любого изделия машиностроения объединяет процессы, соответствующие основным технологическим переделам (заготовительному, изготовления деталей, сборочному). Главное внимание уделяют проектированию ТП изготовления деталей и сборки.

Любой из указанных ТП представляет собой сложную, иерархически организованную, целенаправленную систему. Элементный состав и структура этой системы зависят от уровня ее рассмотрения.

Маршрутный ТП изготовления детали может быть представлен, например, последовательностью этапов, на каждом из которых решают соответствующие технологические задачи (табл. 2.1).

Каждый этап ТП состоит из отдельных технологических операций, выполняемых в определенной (заданной) последовательности.

Таблица 2.1. Характеристика и задачи этапов технологического процесса

Наименование этапа	Точность размеров	Технологические задачи
Заготовительный	$IT > 14$	Обеспечение качества исходной заготовки
Черновой	$12 \leq IT \leq 14$	1. Обработка базовых поверхностей. 2. Предварительное формообразование основных поверхностей
Получистовой	$9 \leq IT \leq 11$	Формообразование основных и второстепенных поверхностей
Чистой	$7 \leq IT \leq 9$	1. Обеспечение точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей. 2. Формирование поверхностного слоя детали
Отделочный	$IT \leq 7$	Достижение заданных показателей качества детали (в комплексе)

Примечание. Заготовительный этап часто выполняется по самостоятельному ТП в зависимости от вида и способа изготовления заготовки. В ТП изготовления детали заготовительный этап обычно включают в сокращенной форме.

Технологической операцией называют законченную часть ТП, выполняемую непрерывно на одном рабочем месте (участке производственной площади, оборудованном в соответствии с выполняемой на нем работой). Операция охватывает все действия над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми предметами производства. При обработке на станках операция включает все действия рабочего, управляющего станком, а также автоматические движения станка, осуществляемые в процессе обработки заготовки до момента снятия ее со станка и перехода к обработке другой заготовки. Содержание операций изменяется в широких пределах — от работы, выполняемой на отдельном станке (сборочной установке) в обычном производстве, до работы, выполняемой на автоматической линии, представляющей собой комплекс технологического оборудования, связанного единой транспортной системой, и имеющей единую систему управления в автоматизированном производстве. Число операций в ТП изготовления деталей может изменяться от одной-двух (изготовление детали на прутковом автомате, изготовление корпусной детали на многооперационном станке) до десятков или даже сотен (изготовление турбинных лопаток, сложных корпусных деталей и т. д.). Кроме технологических различают и вспомогательные операции: транспортирование, контроль, маркирование и др.

Значения многих показателей качества деталей (отклонения размеров, формы, взаимного расположения поверхностей, параметров шероховатости и волнистости поверхностей и др.) в ходе ТП «ступенчато» уменьшаются до значений, соответствующих заданным допускам. Изменение указанных величин в ходе ТП можно условно считать монотонным, если последний не включает операций термической (химико-термической) обработки. Если же ТП включает такие операции, то после их выполнения обычно происходит скачкообразное увеличение значений указанных показателей качества, иногда до уровня, соответствующего исходной заготовке. При этом значения характеристик свойств материала могут также скачкообразно измениться (увеличиться или уменьшиться) в зависимости от назначения и содержания выполненной операции термической (химико-термической) обработки.

Операция термической (химико-термической) обработки разделяет процесс изготовления детали на этапы «до ее выполнения» и «после ее выполнения». Каждый из этих этапов может рассматриваться как самостоятельный ТП, в котором изменения значений показателей качества происходят монотонно. ТП может включать несколько операций различной термической (химико-термической) обработки, но все сказанное выше справедливо и в этом случае.

Определение содержания и места термической (химико-термической) обработки в сквозном процессе изготовления детали с

оценкой возможного влияния этих операций на выполнение указанного процесса является одной из наиболее сложных задач, решаемых при разработке ТП и, прежде всего — маршрутных ТП.

Маршрутным ТП называют последовательность технологических операций, результатом выполнения которых является достижение фиксированного (заданного) состояния предмета производства (детали, сборочной единицы). Список операций, входящих в маршрутный ТП, определяет его состав. Порядок выполнения операций определяет структуру ТП.

Технологическая операция — основной элемент ТП, имеющий собственную структуру.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, выполняемой одними и теми же средствами технологического оснащения при неизменных технологических режимах. Технологическим режимом называют совокупность изменений параметров ТП в определенном интервале времени. К изменяемым параметрам процесса, определяющим режим, относят, например, глубину резания, подачу, скорость резания, температуру нагрева или охлаждения и т.д. Технологический переход характеризуют постоянством:

- применяемого инструмента;
- поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке;

- технологического режима.

Различают технологические переходы:

- простые или элементарные — в работе одновременно находится не более одного инструмента;

- сложные или инструментальные — при одном движении исполнительного рабочего органа оборудования в работе одновременно участвуют несколько инструментов, или при непрерывном движении одного инструмента обрабатывают несколько поверхностей (контурная обработка на станке с ЧПУ).

Технологические переходы выполняют последовательно или параллельно-последовательно (с совмещением во времени). Операция может состоять как из одного, так и нескольких технологических переходов (простых или сложных).

Список технологических переходов определяет состав (содержание) технологической операции. Порядок выполнения переходов определяет структуру операции.

В основу построения технологической операции могут быть положены принципы концентрации или дифференциации технологических переходов.

При концентрации переходов операция включает максимально возможное при заданных условиях число технологических переходов. Это сокращает число технологических операций в ТП. В предельном случае ТП состоит лишь из одной технологической опе-

рации, включающей все переходы, необходимые для изготовления детали. Принцип концентрации характерен для построения операций в единичном и среднесерийном автоматизированном производстве.

При дифференциации переходов, входящих в технологическую операцию, стремятся к сокращению их числа. Пределом дифференциации является такое построение ТП, когда в состав каждой операции входит лишь один технологический переход. Принцип дифференциации характерен для крупносерийного — массового производства, когда необходимо обеспечение высокой производительности труда и синхронизации выполняемых операций по такту выпуска.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением состояния предметов производства, но необходимы для выполнения технологической операции: закрепления заготовки, смены инструмента и т.д. Технологическую операцию следует рассматривать как совокупность технологических и вспомогательных переходов, причем технологические переходы обеспечивают изменения состояния предмета производства, а вспомогательные — выполнение технологических переходов.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменениями формы, размеров, качества поверхности или свойств заготовки. Рабочий ход является отдельной (единичной) реализацией соответствующего технологического перехода, при которой снимают (или добавляют) один слой материала. Число рабочих ходов, выполняемых в одном технологическом переходе, выбирают исходя из обеспечения оптимальных условий обработки, например, уменьшения глубины резания при сьеме значительных слоев материала.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или сборочной единицы. При концентрации переходов операция может быть выполнена за несколько установов. Принцип дифференциации, как правило, предполагает выполнение операции за один установ. Изменение установа в этом случае по сути тождественно созданию новой операции.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижных частей оборудования.

Прием — законченная совокупность действий при выполнении перехода или его части, объединенных одним целевым назначением. Так, при выполнении вспомогательного перехода установки

заготовки в приспособление последовательно выполняют приемы: взять заготовку из тары, установить в приспособление и закрепить в нём.

У спроектированного ТП или его части должны быть полностью определены элементы, структура и необходимые характеристики.

При разработке ТП является объектом соответствующего проектного технологического решения, предназначенного для последующей реализации в производстве. Формирование такого решения применительно к ТП имеет следующие особенности [2]:

- процесс проектирования может быть разделен на стадии и уровни. Получение общего решения, связанного с разработкой единичного ТП, является результатом выполнения отдельных проектных задач и процедур (принцип декомпозиции). Любой ТП может быть разделен на этапы (см. табл. 2.1). Каждый этап состоит из отдельных операций. Каждая операция включает технологические и вспомогательные переходы. Принимая решения на каждом уровне проектирования, последовательно детализируют его объект;

- связь между уровнями проектирования носит иерархический характер. Высшим уровнем является, например, уровень установления стадий изготовления детали, низшим — уровень разработки содержания и последовательности выполнения рабочих и вспомогательных ходов. Принятие проектного решения ведут последовательно по соподчиненным уровням;

- существует приоритет решений, принятых на высших уровнях проектирования, по отношению к низшим. Решения, принятые на высших уровнях, обязательны для низших. Так, например, если на этапе разработки маршрутного ТП изготовления детали была выбрана схема установки заготовки при обработке, то на уровне определения содержания операции эта схема является основой для выбора варианта станочного приспособления;

- при невозможности на более низшем уровне проектирования исполнить решение, принятое на более высоком уровне, последний информируют о необходимости корректировки решения (принцип обратной связи). Например, разработка содержания и последовательности выполнения переходов операции обработки на станке с ЧПУ может привести к превышению необходимого количества режущего инструмента над возможностями револьверной головки. Возникает необходимость переноса части переходов в другие операции. Поэтому необходимо вернуться на более высокий (ранний) уровень проектирования и провести перекомпоновку операций;

- процесс проектирования носит итерационный характер. Этот принцип предполагает обязательно полное (пусть вариантное) решение задач каждого уровня, после чего возможен переход к следующему;

- действует принцип неокончателности решений. Он позволяет проектировщику получать не одно, а несколько решений, близких к оптимальному. Это особенно важно для верхних уровней проектирования, где трудно использовать формальные критерии выбора рационального варианта;

- при проектировании ТП изготовления изделий некоторые решения могут быть использованы повторно для аналогичных проектных ситуаций (принцип преемственности решений).

Традиционно используемые в практике ТПП изделий машиностроения обобщенные алгоритмы неавтоматизированного проектирования единичных ТП изготовления деталей и сборки представлены на рис. 2.1. По сути на рис. 2.1 укрупненно показаны последовательности действий проектировщиков при разработке указанных ТП в рамках выполнения соответствующей функции ТПП (см. рис. 1.3) и сохранении всех информационных связей и взаимодействий. Цель, задачи и технологическое содержание каждого из этапов подробно рассмотрены в учебно-научной литературе (например, [2—4] и др.). Остановимся лишь на основных аспектах неавтоматизированного проектирования единичных ТП.

Особенностью представленных на рис. 2.1 последовательностей действий является строгая обусловленность их этапов: нельзя менять этапы местами. Например, нельзя разрабатывать маршруты обработки основных поверхностей (точнее — изготовления основных поверхностей, см. этап 6 на рис. 2.1, *a*), если неизвестны технологические параметры исходной заготовки (см. этап 5). В принципе, допустимо не выполнять некоторые этапы. Например, если исходная заготовка задана директивно — в частности, будет получена от изготовителя, то ее конструктивно-технологические параметры известны и необходимость в выполнении соответствующего этапа проектирования отпадает. Однако нарушение порядка действий, что в равной мере относится к ТП изготовления деталей и сборки, неизбежно ведет к грубым ошибкам.

При выполнении отдельных этапов проектирования единичных ТП изготовления детали необходимо придерживаться некоторых специальных принципов. Например, при выборе технологических баз (см. этап. 7) следует соблюдать принцип совмещения установочных и измерительных баз, а также принцип постоянства баз.

Разработка маршрутного ТП (см. этап 8) и операционной технологии (см. этап 9) безусловно, являются самостоятельными и сложными этапами проектирования, каждый из которых обладает собственной внутренней иерархией задач. Итоговые результаты их решения оформляют самостоятельными документами (см. подразд. 1.1).

Для ТП сборки характерна маршрутно-операционная форма и разработки и представления результатов проектирования. Это объясняется значительно более сложными, чем при изготовлении детали, закономерностями построения ТП сборки, трудностями стро-



a



б

Рис. 2.1. Обобщенные алгоритмы неавтоматизированного проектирования единичных ТП:

a — изготовления деталей; *б* — сборки

ного расчленения сборочного процесса на отдельные операции, а также высочайшей многовариантностью технологических решений, лежащих в основе построения ТП сборки.

Сильное и не всегда позитивное влияние на проектирование ТП изготовления деталей и сборки оказывает действие принципов

адаптации и неокончателности решений. Проектировщик на любом этапе проектирования должен быть готов к отказу от решений, принятых на предшествующих этапах, и к возврату на несколько этапов «назад», а иногда и к самому началу проектирования. На некоторых этапах проектирования принцип неокончателности действует особенно сильно. Например, при разработке операционной технологии в процессах изготовления деталей (см. этап 9, рис. 2.1, а) неудовлетворительные результаты выбора режимов обработки и технического нормирования операций, в особенности для среднесерийного и массового типов производства, могут привести к полному отказу от намеченной структуры операции, заранее определенно-го оборудования и даже изменению структуры маршрутного ТП.

Наиболее рациональной стратегией технологического проектирования следует считать такую, при которой одновременно разрабатывают несколько альтернативных и конкурирующих вариантов отдельных операций, или даже процессов в целом. Последнее не всегда делают при неавтоматизированном проектировании единичных ТП, предпочитая строить структуру последних из оптимизированных вариантов технологических операций, что, впрочем, не является вполне оправданным и может даже привести к ошибочным результатам.

Оптимизацию ТП можно выполнять на уровне операций, когда выбирают оптимальные структуры и параметры операций (например, режимы резания), и на уровне ТП, когда определяют содержание его основных этапов, их порядок и взаимосвязь (структуру ТП). В последнем случае оптимизация носит характер структурной оптимизации. Доказано, что структурная оптимизация эффективнее параметрической и позволяет получать более оптимальные решения. Например, эффективность операции обработки заготовок на автоматизированном оборудовании во многом зависит от оптимальности состава и последовательности переходов и в меньшей степени — от оптимизации режимов резания. Структурную оптимизацию осуществлять сложнее, чем параметрическую.

При решении задач оптимизации в качестве целевых функций можно использовать заданное качество изделия, заданную производительность процесса, минимальные затраты на изготовление изделия.

Заданное качество изделия в задачах оптимизации обеспечивается системой ограничений на параметры процессов. Например, можно вводить требование достижения максимальной надежности технологических систем.

Критерий производительности обычно охватывает только технологическую производительность $Q_{\text{тех}}$:

$$Q_{\text{тех}} = \frac{1}{t_0} \rightarrow \max,$$

где t_0 — основное время на переход, операцию.

Минимальные затраты на выполнение перехода, операции, ТП являются, как правило, основным экономическим критерием, который часто называют стоимостной целевой функцией. Минимизация затрат позволяет установить целесообразность отвлечения капитальных средств от других вариантов ТП и использования их для осуществления данного ТП.

Следует особо подчеркнуть важность экономических критериев выбора перехода, операции, ТП. Любой этап проектирования — выбор заготовки, определение маршрута обработки и т.д. — должен сопровождаться соответствующим экономическим обоснованием. Экономический критерий является основой структурной и параметрической оптимизации ТП. Его умелое использование значительно повышает эффективность проектных решений.

Решение большинства задач неавтоматизированного технологического проектирования базируется на использовании профессиональных знаний и опыта проектировщика, т.е. обучаемого и постоянно совершенствуемого специализированного интеллекта человека. Это в значительной мере объясняется тем, что, как уже указывалось ранее, подавляющее большинство задач проектирования являются трудно- или неформализуемыми в их современных постановках. Вместе с тем практически любое современное средство автоматизации проектных работ по своей сути представляет интеллектуальный автомат, действие которого базируется на использовании в большей или меньшей степени формальных проектных процедур.

Под **проектной процедурой** понимают составную часть процесса автоматизированного проектирования, направленную на получение проектного решения, являющегося конечным описанием (частью конечного описания) объекта проектирования. Под объектом проектирования здесь понимают ТП в целом, или его отдельный, законченный фрагмент. Для решения проблемы автоматизации технологического проектирования исключительно важен принцип формализации как отдельных проектных операций, составляющих части любой проектной процедуры, так и процедур в целом.

Для того чтобы в автоматизированном режиме получить единственный ТП, не уступающий по качеству процессу, разработанному специалистом, необходимо предварительно создать формальные (формализованные) проектные процедуры. Комплексное использование этих процедур и должно обеспечить желаемый результат автоматизированного проектирования. При соблюдении общей последовательности этапов неавтоматизированного проектирования ТП (см. рис. 2.1), проектные процедуры могут по содержанию существенно, или даже принципиально, отличаться от совокупности действий, ведущих к получению аналогичного результата в неавтоматизированном режиме.

Создание формальных проектных процедур и их комплексов на базе корректного использования основных технологических принципов и правил определяет сущность и сложность проблемы автоматизации технологического проектирования. Без ее решения невозможно обеспечить конкурентоспособность изделий машиностроения и прогресс в этой важнейшей отрасли.

2.2. Основные принципы построения САПР ТП

Существует значительное число отечественных и зарубежных разработок САПР ТП, существенно различающихся по базовым принципам построения, возможностям и, в целом, научно-техническому уровню. С целью сравнения научно-технического уровня различных САПР ТП и оценки принципиальной возможности их использования для решения задач ТПП используют классификацию САПР ТП.

В Российской Федерации принципы классификации и основные классификационные признаки САПР регламентированы ГОСТ 23501.108—85 «Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение». В соответствии со стандартом САПР характеризуют по следующим признакам: тип объекта проектирования; разновидность объекта проектирования; сложность объекта проектирования; уровень автоматизации проектирования; комплексность автоматизации проектирования; характер выпускаемых проектных документов; количество выпускаемых проектных документов; число уровней в структуре технического обеспечения САПР.

Эти признаки отражают особенности объектов проектирования, возможности систем и технической базы САПР. По типу объекта проектирования все САПР ТП в машино- и приборостроении имеют общий классификационный номер 3 (классификационные номера САПР, имеющих другие объекты проектирования, здесь и далее для краткости изложения не приводятся).

Для разновидностей объектов проектирования стандарт не устанавливает специальных обозначений, и поэтому часто используют для разделения САПР ТП макрооценки результатов их деятельности: маршрутная технология, операционная технология, маршрутно-операционная технология, управляющая программа для станка с ЧПУ.

По признаку «сложность объекта проектирования» выделяют САПР:

- простых объектов с числом составных частей до 10^2 ;
- объектов средней сложности с числом составных частей $10^2 \dots 10^3$;
- сложных объектов с числом составных частей $10^3 \dots 10^4$;
- очень сложных объектов с числом составных частей $10^4 \dots 10^6$;

- объектов очень высокой сложности с числом составных частей свыше 10^6 .

При оценке сложности такого объекта проектирования как «технологический процесс» существуют два подхода. В соответствии с первым из них за составную часть ТП принимают его основной элемент: для маршрутного ТП — технологическую операцию; для технологической операции — элементарный переход. Во втором подходе объект проектирования делят на части условно в соответствии с номенклатурой выпускаемой технологической документации. Данный подход более характерен на производстве, однако он не отражает объективно сложность объекта проектирования. Объекты проектирования в современных САПР ТП имеют оценки от «сложных» до «очень высокой сложности».

По признаку «уровень автоматизации проектирования» выделяют системы:

- низкоавтоматизированного проектирования (автоматизирующие до 25 % проектных процедур, выполняемых при проектировании объекта);
- среднеавтоматизированного проектирования (25... 50 %);
- высокоавтоматизированного проектирования (свыше 50 %).

Для отнесения САПР ТП к последней группе в ней должны быть применены методы многовариантного оптимального проектирования. В противном случае систему относят к группе среднеавтоматизированных систем. Оценить уровень автоматизации проектирования достаточно сложно. Это связано со сложным иерархическим характером любой проектной процедуры.

Для получения подобной оценки иногда используют численное (выраженное в %) отношение объема (или трудоемкости) автоматизированных проектных работ к общему объему (или трудоемкости) проектных работ.

Классификационный признак «характер выпускаемых проектных документов», определявший в основном форму представления выходных документов САПР ТП на различных видах носителей (бумажных, магнитных и т.д.), следует считать утратившим свое значение.

По числу выпускаемых проектных документов различают системы:

- малой производительности (до 10^5 проектных документов в год в пересчете на формат А4);
- средней производительности (10^5 ... 10^6);
- высокой производительности (свыше 10^6).

По числу уровней в структуре технического обеспечения выделяют:

- одноуровневые;
- двухуровневые;
- трехуровневые САПР ТП.

Основой технического обеспечения одноуровневой системы является универсальный компьютер со штатным набором периферийных устройств. Техническое обеспечение двухуровневой САПР ТП включает в себя центральный компьютер средней или большой мощности и взаимосвязанные с ним одно или несколько автоматизированных рабочих мест (АРМ), имеющих собственные компьютеры. Трехуровневая САПР ТП создана на основе центрального компьютера большой мощности, нескольких АРМ и периферийного программно-управляемого оборудования для централизованного обслуживания АРМ. Трехуровневая САПР может быть построена и на основе центрального компьютера большой мощности и группы АРМ, объединенных в вычислительную (локальную) сеть.

Наряду с изложенными стандартными классификационными признаками используют и дополнительные.

По режиму обработки информации (ГОСТ 15971—90 «Системы обработки информации. Термины и определения») различают САПР ТП:

- пакетные;
- интерактивные;
- диалоговые;
- системы реального времени.

В пакетных системах процесс проектирования осуществляется автоматически, после ввода необходимых исходных данных, без связи с лицами, поставившими задание на выполнение.

В интерактивных системах происходит взаимодействие процесса обработки информации системой с человеком, выражающееся в разного рода воздействиях на этот процесс (предусмотренных механизмом управления) человека и вызывающих ответную реакцию процесса.

В диалоговых САПР ТП человек и система обмениваются данными в темпе, соизмеримом со скоростью обработки информации человеком.

В САПР ТП реального времени обработка информации и получение результатов происходят в темпе, соизмеримом со скоростью протекания проектируемых (технологических) процессов.

Реализующийся в пакетных САПР ТП процесс проектирования полностью формализован и позволяет надежно получать результаты необходимого качества. В САПР ТП реального времени также реализован полностью формализованный процесс проектирования, однако работу рассматриваемой системы от предыдущей отличает высокое быстродействие, что может быть достигнуто за счет автоматизации ввода исходных данных, а также использования методов и технических средств высокоскоростной обработки информации.

Пакетные САПР ТП, являясь мощным средством сокращения длительности ТПП, позволят в перспективе принципиально из-

менить содержание и качество обработки конструкции на технологичность, а САПР ТП реального времени — революционно изменить содержание функции контроля и управления ходом ТП, позволяя получать проектные решения высокого качества в случаях нарушений заданных параметров реализующихся в производстве ТП (задачи ситуационного управления). Создание полноценных САПР ТП указанных видов является делом будущего.

Интерактивные и диалоговые системы практически на 100 % представляют современные САПР ТП. Диалоговые системы можно считать разновидностью интерактивных. Интерактивный режим используют в САПР ТП как средство преодоления трудно- и неформализуемых этапов технологического проектирования. Система выполняет формализованные процедуры проектирования, а неформализованные (выбор, принятие промежуточных решений и т. д.) предоставляет для выполнения специалисту. По завершении человеком необходимых действий вновь работает система. Процесс многократно повторяется до получения желаемого результата проектирования. Преимущества данного подхода очевидны — он позволяет создавать САПР ТП, несмотря на отсутствие методов формализации отдельных процедур проектирования. Недостатком следует считать влияние специалистов на результаты проектирования (проектное решение). Сформированное такими системами проектное решение не является вполне объективным. Возрастает и время его формирования. Основной тенденцией совершенствования диалоговых САПР ТП является минимизация диалога пользователя (человека) с системой и постепенная трансформация диалоговых САПР ТП в пакетные.

Обобщение опыта исследований и разработки САПР ТП позволило сформулировать основные общесистемные принципы их построения:

- полного соответствия системы цели ее создания;
- системного единства: система и создается, и эксплуатируется как единая совокупность взаимодействующих подсистем, работа которых подчинена общей цели;
- открытости системы: при эксплуатации системы, как единства подсистем, должна быть сохранена открытость ее структуры;
- интеграции: средства реализации САПР ТП должны обеспечивать возможность ее информационной интеграции с другими автоматизированными системами поддержки ЖЦИ;
- развития: структура системы должна обеспечивать возможность наращивания и совершенствования компонентов САПР ТП и связей между ними;
- инвариантности: по возможности система должна быть инвариантной объекту проектирования и отрасли;
- тиражируемости и адаптации: система должна быть тиражируема и легко адаптируема к возможным изменениям объекта проектирования и условий эксплуатации;

- живучести: система должна обеспечивать выполнение заданных функций при воздействиях внешней среды и отказах ее компонентов в заданных пределах.

Соответствие системы цели ее создания определяют:

- формирование системой объектов проектирования заданной разновидности (например, маршрутных, операционных, маршрутно-операционных ТП);

- обеспечение заданного качества проектных решений (не хуже качества решений, полученных специалистом);

- возможность достижения цели системы.

Структура и параметры каждой подсистемы при разработке должны определяться из условий наилучшего соответствия цели системы. Каждая подсистема должна разрабатываться с учетом обеспечения наиболее эффективного взаимодействия с другими подсистемами и не может разрабатываться изолированно от них. Изолированная разработка отдельных компонентов (например, реализующих отдельные проектные процедуры) с последующим объединением их в систему резко снижает ее эффективность, а иногда делает такое объединение просто невозможным.

Система не должна разрабатываться как замкнутая, в противном случае теряется возможность ее совершенствования и интеграции с другими системами.

Интегрированной автоматизированной системой называют совокупность двух или более взаимосвязанных автоматизированных систем, в которой функционирование одной из них зависит от результатов функционирования другой (других) так, что эту совокупность можно рассматривать как единую автоматизированную систему. Принцип интеграции исключительно важен для САПР и определяет одно из основных направлений их развития и совершенствования.

Под интегрированными понимают конструкторско-технологические САПР, осуществляющие комплексное проектирование изделия и технологической среды его производства. Уровень интеграции систем различен. К интегрированным относят системы CAD/CAM, CAE/CAD/CAM, CAE/CAD/CAPP и т. д.

Другим важнейшим аспектом принципа интеграции является объединение САПР с другими автоматизированными системами, обеспечивающими автоматизацию поддержки решений не только на производственно-технологических, но и на иных этапах ЖЦИ в рамках концепции CALS-технологий (см. подразд. 1.2). К таким можно отнести, например CAE/CAD/CAM/CAPP/PDM или CAE/CAD/CAM/CAPP/PDM/PLM-системы.

Система может быть универсальной или специализированной. Универсальная (многофункциональная) САПР ТП характеризуется широким применением, полноценной реализацией принципа многовариантности. Ее создание гораздо дороже и сложнее по

сравнению со специализированной САПР ТП, предназначенной для выполнения определенных, ограниченных процедур или имеющих ограничения по объекту производства (например, САПР ТП изготовления деталей типа тел вращения, призматических деталей и т. д.).

Системы, имеющие ограничения по объекту проектирования, часто называют объектно-ориентированными. Чем выше уровень формализации процесса проектирования, тем больше ограничений накладывают на объекты проектирования САПР ТП, т. е. система становится все более специализированной (объектно-ориентированной).

Созданная САПР ТП должна быть пригодной для тиражирования (копирования) и распространения путем продажи, передачи и т. д. Условия ее будущей эксплуатации могут отличаться от тех, для которых она изначально разрабатывалась. Может несколько видоизменяться и объект проектирования, это связано, например, с изменением области использования. Если принцип инвариантности не соблюден, то объективно возникает необходимость в адаптации системы к изменившимся условиям эксплуатации и объектам проектирования. Чаще всего такую адаптацию осуществляют в форме настройки системы. Обычно предусматривают три уровня настройки: системный, процедурный и параметрический. На системном уровне осуществляют смену общесистемных программ. Процедурный уровень используется при переходе на новый класс объектов проектирования и обеспечивает замену отдельных блоков в программных модулях входного описания объекта, подсистем инженерного анализа и документирования. На параметрическом уровне средствами, доступными разработчику, производят настройку системы внутри некоторого класса проектируемых объектов.

Соблюдение принципа живучести обеспечивает устойчивость САПР ТП к нештатным воздействиям внешней среды и отказам ее компонентов. Повышению живучести способствуют модульность построения системы, дублирование подсистем, взаимозаменяемость отдельных компонентов подсистем и т. д.

Полнота реализации изложенных принципов при разработке различных САПР ТП различна. Полноценная реализация любого из принципов связана со значительными затратами. Разработчики систем, как правило, пытаются достичь компромисса между уровнем реализации принципа и соответствующими затратами.

2.3. Состав и структура САПР ТП

В составе любой САПР ТП выделяют комплекс технических средств, программно-методический комплекс и обслуживающий персонал (рис. 2.2).

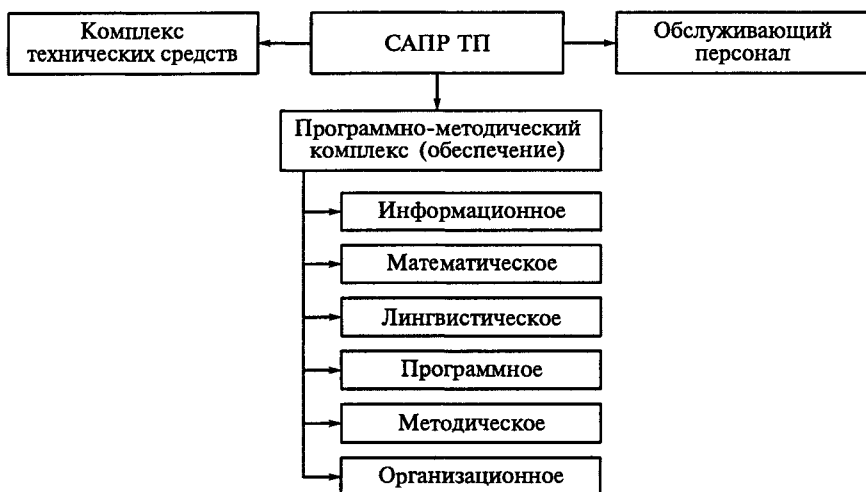


Рис. 2.2. Состав и виды обеспечения САПР ТП

Комплекс технических средств предназначен для обеспечения ввода-вывода информации в систему, хранения и переработки информации в системе, отображения и выдачи информации в удобной для проектировщика форме, а также управления процессами обработки информации при проектировании. К техническим средствам САПР ТП относят вычислительную технику, периферийные устройства (в основном используемые для ввода-вывода информации), сетевое оборудование, специализированные АРМ. Подробно состав и характеристика технических средств САПР ТП рассмотрены в гл. 6.

Программно-методический комплекс САПР ТП включает в себя (ГОСТ 34.033—90 «Автоматизированные системы. Термины и определения») обеспечение:

- информационное — информация, используемая САПР ТП для выработки проектных решений (данные о прототипах проектируемых объектов, типовых проектных решениях, нормативные данные), основная часть которой содержится в машинных базах данных и незначительная — в обычных документах;

- математическое — совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, необходимых для выполнения проектных процедур;

- лингвистическое — сведения о специальных проблемно-ориентированных языках проектирования, использующихся в САПР ТП;

- программное — комплекс всех программ и эксплуатационной документации к ним в виде обычных текстовых документов или записанных на машинных носителях;

- методическое — комплект документов, содержащих общее описание САПР ТП; данные об используемых средствах автоматизации, правилах их технического обслуживания и использования;

- организационное — комплект документов (положений, штатных расписаний, инструкций и др.), устанавливающих правила практического выполнения автоматизированного проектирования, в том числе: взаимодействие всех проектирующих и обслуживающих подразделений; ответственность специалистов различного профиля и уровня за определенные виды работы; правила выпуска, использования и корректировки выходных документов САПР ТП; правила доступа к базам данных; приоритеты пользования средствами САПР ТП.

Обслуживающий персонал САПР ТП разделяют на управляющий, обеспечивающий и целевой. Управляющий и обеспечивающий персоналы часто называют эксплуатационным. Целевой персонал включает и разработчиков САПР ТП, его относят к обслуживающему персоналу лишь в случае, если используемая САПР ТП является системой, эксплуатирующейся в месте ее разработки, например, разработанной силами отдела САПР предприятия.

Функциональными составляющими САПР ТП являются проектирующие и обслуживающие подсистемы. Подсистема — совокупность взаимосвязанных элементов, способных выполнять относительно независимые функции, реализовать подцели, направленные на достижение общей цели системы.

К проектирующим относят подсистемы, выполняющие процедуры и операции проектирования отдельных частей объекта или осуществляющие выполнение определенного этапа проектирования (например, разработки маршрутов основных поверхностей, выбора технологических баз и т. д.). Проектирующие подсистемы чаще всего являются объектно-ориентированными, т. е. содержание и порядок выполнения реализованных в них проектных процедур характерны и применимы только для данного вида проектируемых объектов. Если номенклатура однотипных проектируемых объектов широка, например, если объект — ТП изготовления деталей типа тел вращения, проектирующие подсистемы (или даже САПР ТП в целом) относят к инвариантным или объектно-независимым.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем (например, подсистемы графического отображения состояния предмета производства, информационно-поисковые, подсистемы формирования текстовых документов и т. д.). Обслуживающие подсистемы могут быть инвариантными ко многим видам объектов проектирования, так как предназначены для выполнения унифицированных проектных процедур и операций, например, хранения и поиска информации, обработки графической информации, формирования проектной документации. Вместе с тем такие подсистемы создают для использования в вычислительных комплексах САПР ТП конкретного состава и с определенными операционными системами.

Подсистемы САПР ТП, в принципе, обладают всеми свойствами систем и могут функционировать самостоятельно. Они даже делятся на составляющие, которые принято называть компонентами.

Лицо, участвующее в эксплуатации САПР ТП или использующее результаты ее эксплуатации называют пользователем системы.

Пользователь обычно работает с системой на АРМ, основным техническим средством которого является персональный компьютер различной конфигурации. Рабочее место может быть автономным или входить в локальную сеть.

На рис. 2.3 показано взаимодействие пользователя САПР ТП с системой, осуществляемое через компьютер АРМ.

Диалог пользователя с САПР ТП обеспечивает процессор ввода-вывода (ПВВ). Он же формирует и интерфейс системы. Получив от пользователя входную информацию, содержащую либо запрос к системе, либо директиву (указание) на выполнение тех или иных действий, ПВВ преобразует ее во внутримашинное представление и направляет к программе управления (ПУ).

Программа управления, в зависимости от характера входной информации, направляет запрос на исполнение либо к соответствующему сегменту технологического процессора (ТПр), либо к базе данных (БД) АРМ (базе пользователя), либо к центральному банку данных системы через сервер сети.

С пользователем ведется непрерывный диалог путем выдачи сообщений на интерфейс системы и получения его ответов. При необходимости промежуточные или окончательные результаты выводят на периферийные устройства (П) АРМ. Взаимодей-

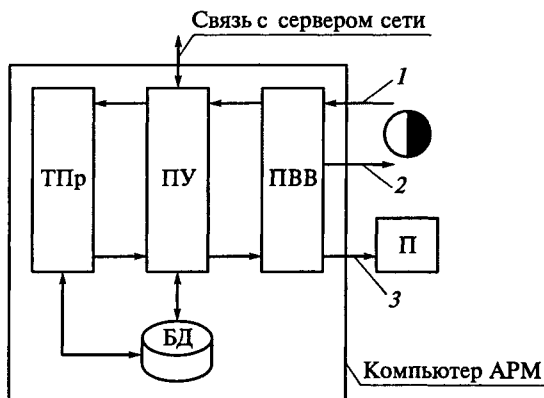


Рис. 2.3. Взаимодействие пользователя с САПР ТП:

1 — ввод входной и диалоговой информации; 2 — вывод диалоговой информации и результатов работы системы; 3 — вывод промежуточных и окончательных результатов

ствующие программные компоненты являются программными комплексами, входящими в программное обеспечение САПР ТП. К основным проектирующим подсистемам относят программу управления и технологический процессор. Процессор ввода-вывода и банк данных являются обслуживающими подсистемами, выполняя соответственно функции ввода-вывода, отображения и хранения информации. Сходную структуру имеют многие САПР ТП.

Объект проектирования — объект соответствующего проектного решения. Характер решения зависит от вида проектирования.

Проектирование может быть: концептуальным, структурным и параметрическим.

Концептуальное проектирование можно считать проектированием «верхнего уровня». Его выполняют при отсутствии информации даже о возможной структуре объекта проектирования. Объект рассматривают в целом во взаимодействии с внешней средой, стремясь приблизительно наметить его структуру, которая может быть неоднородной и состоящей из нетиповых подсистем. Главными задачами концептуального проектирования являются определение целей, ограничений, основных функций и укрупненной структуры объекта, а также альтернативных вариантов его реализации. Результаты проектирования примерно соответствуют уровню эскизного проекта. В САПР ТП концептуальное проектирование практически не используется.

При структурном проектировании, зная входные и выходные характеристики объекта в целом и основные принципы его построения и функционирования, определяют его элементный состав и структуру. В САПР ТП это, например, задачи определения структуры маршрутного ТП или технологической операции (число переходов, их содержание, последовательность выполнения, возможность совмещения во времени и т. д.).

Параметрическое проектирование реализует результаты структурного проектирования в направлении определения количественных значений параметров элементов структуры. Этот вид проектирования часто используют в САПР ТП, например, при определении параметров операций известной структуры (режимов резания, норм времени и т. д.). Параметрическое проектирование во многих случаях является принципиальной основой разработки САПР ТП.

Общий алгоритм формирования проектного технологического решения показан на рис. 2.4. Техническое задание содержит первичное описание желаемого объекта проектирования (например, ТП) в заданной форме. Это описание является достаточно общим, в нем указывают, как правило, лишь некоторые, приближенные характеристики желаемого объекта проектирования. Его структура (например, последовательность операций в маршрутном ТП или переходов в операции) неизвестна.

Формирование проектного решения (объекта проектирования) начинают с синтеза исходного варианта его структуры (см. блок 2, рис. 2.4). Синтез структуры объекта — сложная проектная процедура, включающая в себя:

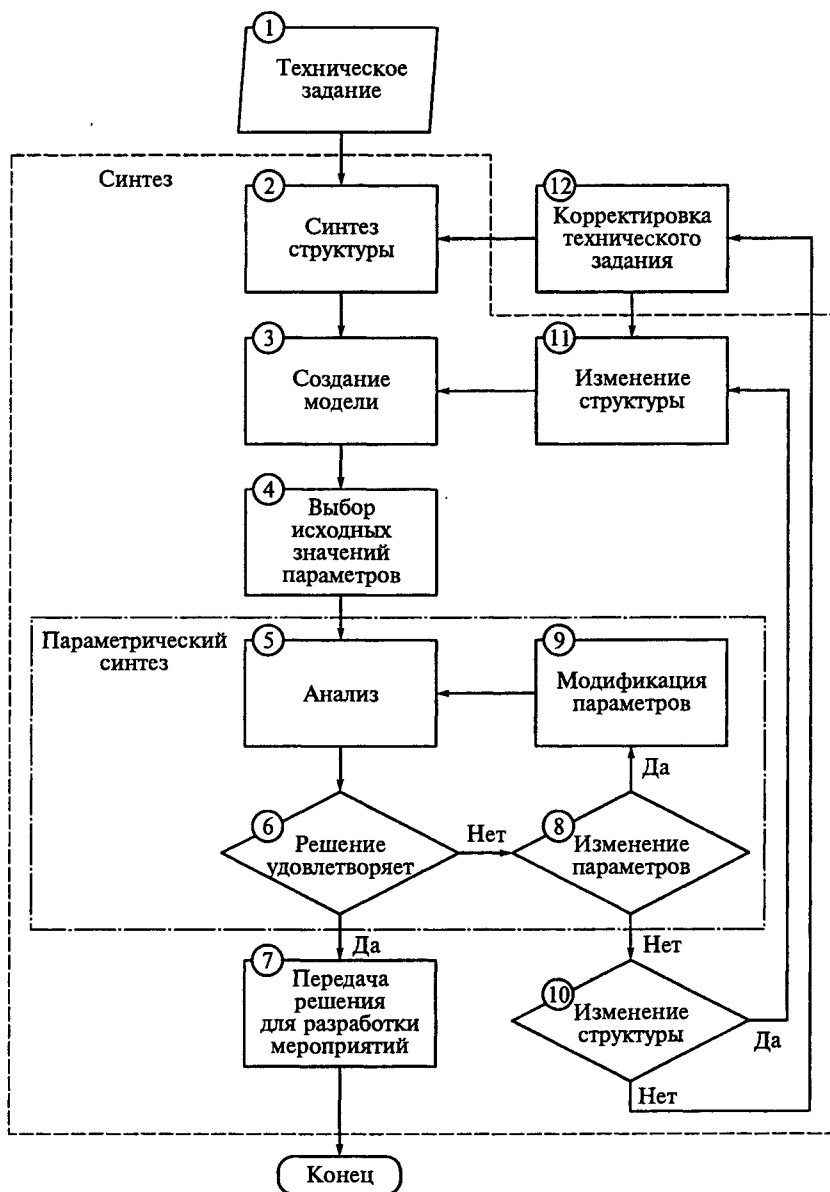


Рис. 2.4. Общий алгоритм формирования проектного решения

- определение элементного состава объекта, например, списка технологических операций проектируемого ТП;

- установление связей между элементами, например, порядка выполнения технологических операций в ТП. Впервые синтезированную структуру иногда называют первичной структурой объекта.

Для оценки синтезированного варианта структуры объекта создают (или используют) его математическую модель. Выбирают (определяют) исходные значения параметров элементов, например, параметров технологических операций при проектировании ТП. Анализируют вариант объекта — определяют его свойства по структуре и значениям параметров. Оценка варианта объекта проектирования заключается в проверке соответствия его характеристик заданным (желаемым). Если решение удовлетворяет разработчика, то на соответствующий объект проектирования оформляют необходимую документацию. В противном случае улучшения решения пытаются добиться в первую очередь изменением (модификацией) его параметров (см. блок 9, рис. 2.4), не изменяя его структуры.

Совокупность процедур анализа, оценки результатов и модификации (изменения) параметров называют параметрическим синтезом.

Если параметрический синтез не принес желаемых результатов и качество полученного проектного решения не соответствует техническому заданию, то изменяют структуру объекта решения, вплоть до синтеза новой.

Если не удается получить приемлемое проектное решение, то возможна корректировка технического задания, так как показатели объекта проектирования, предписанные прежним заданием, невозможно обеспечить. Подобная ситуация возникает, если возможности САПР ТП недостаточны для того, чтобы спроектировать ТП для заданной детали. Например, система, предназначенная для проектирования ТП изготовления деталей — тел вращения, не может часто обеспечить проектирование ТП деталей, содержащих элементы, не являющиеся телами вращения. В принципе, допустим полный отказ от полученного результата проектирования вследствие его неудовлетворительности или даже абсурдности.

Если результаты проектирования удовлетворяют пользователя САПР ТП, их представляют в предусмотренных стандартом (ГОСТ 3.1109—83 «Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы») формах:

- маршрутное описание ТП — сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических решений;

- операционное — полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов;

- маршрутно-операционное — сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах.

Из анализа алгоритма формирования проектного решения, приведенного на рис. 2.4, следует, что основная проблема создания высокоэффективных САПР ТП заключается в отсутствии простых и эффективных методов синтеза структур объектов проектирования.

Ключевым вопросом построения САПР ТП является вопрос о том, как в данной системе осуществляют синтез структуры объекта проектирования — ТП, фрагментов ТП, технологических операций.

Существуют принципиально различные подходы к построению САПР ТП. Известны несколько классификаций методов проектирования ТП, положенных в основу создания соответствующих САПР ТП.

Профессор И. П. Норенков классифицирует методы по сложности задач синтеза на пять уровней:

- задачи, в которых структура ТП задается (т. е. собственно синтез отсутствует);

- перебор вариантов структуры, для выполнения которого задают полный перечень вариантов;

- выбор эффективного варианта из большого, но конечного их множества методами исследований операций;

- выбор эффективного варианта из бесконечного множества (для сужения области поиска эффективного решения применяют эвристические правила отбора, режим диалога);

- задачи, которые решаются на уровне открытий и изобретений [5].

Предложенная классификация, к сожалению, не подкреплена рекомендациями по процедурной реализации каждой из групп методов.

Профессор В. Д. Цветков [6] разделяет методы проектирования ТП на три большие группы:

- алгоритмический анализ типовых и групповых процессов;

- преобразование процессов-аналогов;

- многоуровневый итерационный метод.

К первым двум группам автор относит методы:

- параметрической настройки (изменения параметров в желаемом направлении) ТП;

- исключения и добавления структурных элементов ТП;

- комбинированный способ преобразования ТП.

Третья группа включает методы синтеза на основе как типовых, так и оригинальных проектных решений. Априори считается, что, например, параметрическая настройка целесообразна только при использовании процессов-аналогов. Профессор С. П. Митрофанов [7] методы проектирования ТП разделяет на два класса: адресации и синтеза. Метод адресации имеет три модификации, основанные на заимствовании ТП:

- без изменения структуры аналога и параметрической настройки;
- без изменения структуры аналога, но с параметрической настройкой (расчет режимов резания, норм времени, постановка размерных характеристик, имен инструмента и т.п.);
- с исключением элементов и связей и с параметрической настройкой.

Метод синтеза хотя бы один раз требует формирования внешних связей между элементами для создания из них элементов более высокого уровня. Этот метод предполагает определение состава элементов, построение новых связей, проверку их достоверности и параметрическую настройку с использованием логических правил и аналитических зависимостей. Проектирование можно вести как с использованием аналогов, так и без них. При использовании аналогов необходимо включать в аналог новые элементы или существенно изменять их последовательность.

В исследованиях ([7] и др.) убедительно показано, что сложность автоматизации проектирования (синтеза) структуры ТП объясняется большой совокупностью правил проектирования, слабой их формализацией, динамичностью схем их применения, определяемых конкретными производственными условиями. Современные системы проектирования технологии характеризуются применением эвристических алгоритмов формирования структур, строго ориентированных на ограниченное число производственных ситуаций, поэтому системы плохо тиражируемы и неадаптивны. Решения, формируемые системой, часто требуют глубокой корректировки. При проектировании структуры ТП требуется ввести большой объем необходимых исходных данных об изделии и производственной среде. Для корректировки решений, облегчения процесса кодирования и ввода исходных данных применяют диалог пользователя с системой. Однако даже диалог не позволяет повысить эффективность проектирования структуры ТП, если алгоритмы не были рассчитаны на конкретную производственную ситуацию. Оперативно изменить или дополнить алгоритмическое и программное обеспечение не представляется возможным.

Процесс варьирования параметров (параметрической настройки) значительно более формализован и менее зависим от производственной ситуации, поэтому в последнее время появилось много систем, в которых автоматически (или автоматизировано) выпол-

няется параметрическая настройка, а структура ТП формируется вручную и информация о ней вводится в систему как исходные данные. Такие системы легко адаптируются к производственным условиям, требуют введения относительно небольшого объема исходных данных и легко воспринимаются специалистами при их внедрении. Однако, эффективность решений в таких системах определяется квалификацией технолога, отсутствует возможность оптимизировать структуру объекта проектирования.

За последние 10—15 лет состояние автоматизации синтеза структур ТП изменилось мало. Проблема автоматизированного синтеза единичных ТП остается важнейшей и наиболее актуальной проблемой автоматизации проектирования.

В наиболее часто встречающихся оценках состояния автоматизированного синтеза ТП указывается, что при его реализации маршрутная и операционная технологии должны создаваться на основе общих закономерностей проектирования или эвристик, справедливых для ограниченного класса деталей и определенных видов и типов производства. Утверждается, что сформировать закономерности проектирования и критерии ТП, с помощью которых можно было бы разрабатывать весь процесс изготовления деталей на сегодняшний день не представляется возможным. Теория синтеза структур технологических объектов, несмотря на усилия исследователей, разработана недостаточно.

Структура САПР ТП и состав ее подсистем (прежде всего проектирующих) определяются реализуемой в ней методологией проектирования. Существуют две основные методологии проектирования ТП изготовления изделий машиностроения:

- проектирование на базе использования ТП-аналогов;
- синтез единичных ТП на основе конструктивно-технологических характеристик изготавливаемых изделий.

Рассмотрим структуру и принципы построения САПР ТП, реализующих каждую из представленных методологий проектирования.

2.4. Построение САПР ТП на базе использования процессов-аналогов

Процессами-аналогами называют типовые и групповые ТП. Единичный ТП можно проектировать на основе процессов-аналогов. В этом случае его структура и содержание технологических операций в значительной мере определяются структурой процесса-аналога.

Рассмотрим использование процессов-аналогов на примере САПР ТП изготовления деталей машин.

В основе использования типовых ТП лежит предварительная классификация деталей по конструктивно-технологическим признакам. Цель классификации — определение принадлежности де-

тали к некоторой группе (классу) деталей, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков.

В промышленности находит применение технологический классификатор деталей (ТКД) машиностроения и приборостроения, являющийся продолжением и дополнением классификатора ЕСКД (классы 71—76), разработанного в качестве информационной части ГОСТ 2.201—80 «Единая система конструкторской документации. Обозначение изделий и конструкторских документов». Классификатор ЕСКД включает 100 классов, из которых 51 составляют пока резерв для размещения новых видов изделий. Классы 71—76 охватывают детали всех отраслей промышленности основного и вспомогательного производств:

- класс 71 — тела вращения типа колес, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.;

- 72 — тела вращения с элементами зубчатого зацепления: трубы, шланги, проволочки, разрезные секторы, сегменты, изогнутые из листов, полос и лент; аэрогидродинамические корпусные, опорные и емкостные детали; вкладыши подшипников;

- 73 — корпусные, опорные и емкостные детали, не являющиеся телами вращения;

- 74 — плоскостные, рычажные, тяговые, аэрогидродинамические, изогнутые из листов, полос, лент профильные детали, не являющиеся телами вращения, и трубы;

- 75 — кулачковые, карданные, с элементами зацепления, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, оптические, крепежные детали и ручки;

- 76 — детали технологической оснастки и инструмента.

Технологический классификатор деталей можно использовать для решения следующих задач:

- анализа номенклатуры деталей по их конструктивно-технологическим признакам;

- группирования деталей по конструктивно-технологическому подобию для разработки процессов-аналогов;

- унификации и стандартизации деталей в ТП их изготовления;

- тематического поиска и использования ранее разработанных процессов-аналогов.

Технологический классификатор деталей представляет собой систематизированный в виде классификационных таблиц свод наименований общих признаков деталей, составляющих их частные признаки и кодовые обозначения. Структура полного конструкторско-технологического кода детали состоит из обозначения детали по ГОСТ 2.201—80 и технологического кода длиной в четырнадцать знаков. Технологический код состоит из двух частей: постоянной части из шести знаков (рис. 2.5, а) и переменной части из восьми знаков (рис. 2.5, б).

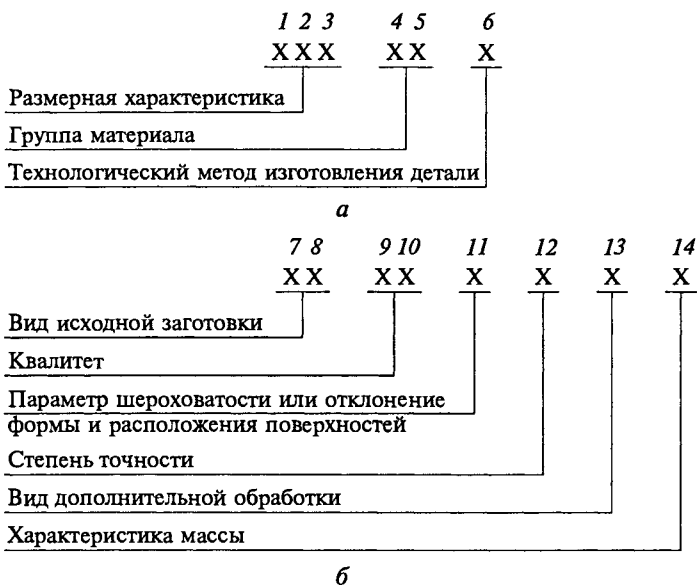


Рис. 2.5. Структура технологического кода деталей, обрабатываемых резанием:

a — постоянной части; *b* — переменной

Структура переменной части технологического кода зависит от технологического метода изготовления деталей (позиция *b*, см. рис. 2.5, *a*):

- 1 — литье;
- 2 — ковка и объемная штамповка;
- 3 — листовая штамповка;
- 4 — обработка резанием;
- 5 — термическая обработка;
- 6 — формообразование из полимерных материалов и резины;
- 7 — покрытие;
- 8 — электрофизико-химические методы;
- 9 — методы порошковой металлургии.

Соответственно ТКД содержит 9 разделов.

Использование таблиц ТКД позволяет однозначно представить конструкторско-технологические признаки детали в виде кода описанной структуры.

В принципе, возможно использование и иных классификаторов, при построении которых учитывается, например, специфика деталей, изготавливаемых на предприятии. При разработке классификаторов следует помнить, что малое число признаков (3—5) делает классификационную систему слишком грубой и не позволяет с достаточной точностью отнести деталь к той или иной группе

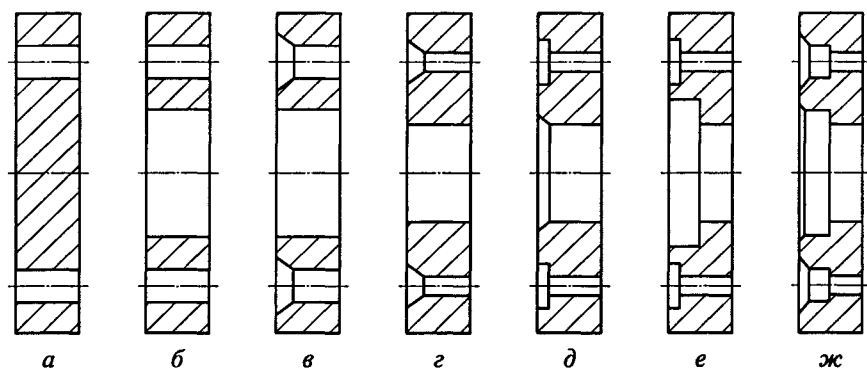


Рис. 2.6. Примеры конструкций:

а—е — детали типа фланцевого диска; *ж* — деталь-представитель

(классу). Большое (20 и более) число признаков делает классификатор неудобным в работе, что приводит к возникновению ошибок.

В соответствии с ТКД конкретную деталь можно отнести к соответствующему классу, подклассу, группе, подгруппе или типу. Для каждого типа определена деталь-представитель (рис. 2.6). Для нее разрабатывают типовой ТП, структуру и основные параметры которого считают известными.

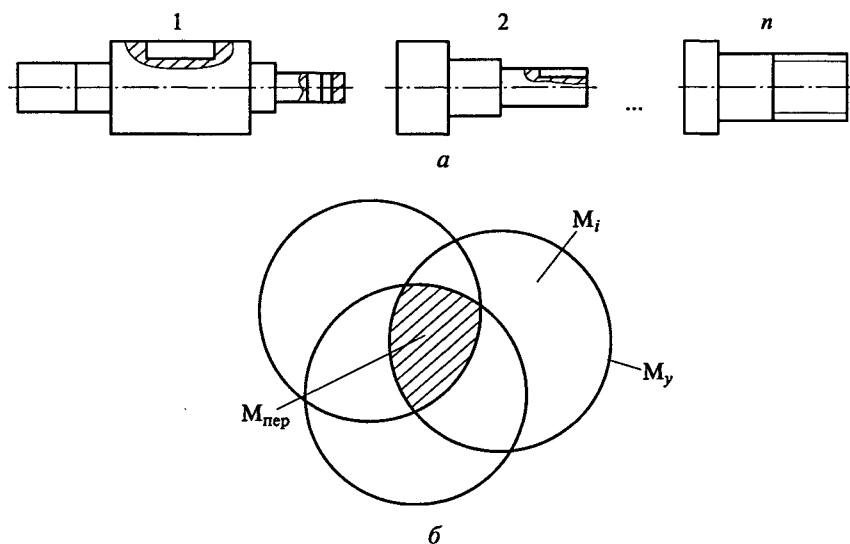


Рис. 2.7. Схема объединения единичных маршрутных ТП группы деталей в обобщенный маршрут:

а — эскизы деталей группы; *б* — схема объединения

В работе профессора Н. М. Капустина [8] показано, что наряду с типовым ТП для проектирования можно воспользоваться обобщенным маршрутом изготовления деталей данного типа, подгруппы и т.д. Обобщенный маршрут представляет собой перечень (упорядоченное множество) оригинальных операций, входящих в единичные ТП деталей данного типа. Пусть, например, тип (подгруппа, группа и т.д.) представлены n деталями (рис. 2.7, а), с соответствующими маршрутными ТП: M_1, M_2, \dots, M_n . При объединении этих ТП (рис. 2.7, б) $M_i \subset M_y$, где $i = 1, \dots, n$; M_y — обобщенный маршрут.

Необходимым условием включения единичного маршрутного ТП в обобщенный является наличие области пересечения множеств операций, например процессов M_i и M_j , как непустого множества $M_{\text{пер}}$: $M_{\text{пер}} = M_i \cap M_j \neq 0$. Мощность пересечения множеств операций единичных ТП желательно увеличивать, поскольку при этом мощность обобщенного маршрута $M_y = \bigcup_{i=1}^n M_i$ уменьшается.

Обобщенный маршрут по сути — множество единичных маршрутных ТП, представленных своими кодами операций с указанием их наименования и сущности выполняемой в каждой операции работы. В результате анализа описаний операций единичных ТП изготовления деталей, обладающих сходными конструктивно-технологическими признаками, разрабатывают упорядоченные справочники формулировок операций, входящих в обобщенный маршрут (табл. 2.2).

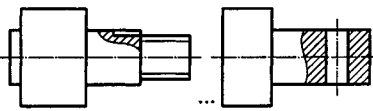
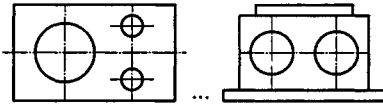
Различия между типовыми ТП и обобщенным маршрутом очевидны. Типовой ТП является целостным и законченным процессом изготовления детали-представителя, которая, в принципе, могла бы существовать реально. Обобщенный маршрут не является законченным процессом, а представляет собой информационный объект, включающий упорядоченную последовательность всех оригинальных операций изготовления деталей соответствующей группы (типа). Последнее делает его информационную ценность выше типового ТП.

Методология формирования групповых ТП подробно изложена в [2].

Сведения о процессах-аналогах входят в информационное обеспечение САПР ТП. Разработку единичных ТП изготовления деталей на основе процессов-аналогов выполняют в соответствии со структурной диаграммой, приведенной на рис. 2.8.

Используют конструктивно-технологические модели детали и исходных заготовок (как разработанных в ходе ТПП, так и директивно заданных). Параметры моделей можно вводить с помощью процессора ввода-вывода САПР ТП или импортировать из САД, что в особенности характерно для интегрированных САПР. Вводят

Таблица 2.2. Фрагмент справочника [8] формулировок операций, входящих в обобщенный маршрут

Типы деталей (подгруппы, группы...)			
Ступенчатые валы		Корпусные детали	
			
Код операции	Формулировка операции	Код операции	Формулировка операции
1140	Токарная с ЧПУ. В центрах. Точить под закалку согласно эскизу	1401	Горизонтально-расточная. На столе. Выверить. Расточить основные отверстия согласно эскизу
1147	Токарно-винторезная. В патроне и люнете. Править центровые фаски	2601	Вертикально-фрезерная. На столе. Выверить. Фрезеровать плоскости согласно чертежу
1155	Токарно-винторезная. В центрах. Точить под улучшение согласно эскизу	1562	Вертикально-сверлильная с ЧПУ. В приспособлении. Сверлить крепежные отверстия по программе
1541	Вертикально-сверлильная. Сверлить радиальные отверстия	1701	Плоскошлифовальная. На магнитной плите. Шлифовать плоскости предварительно и окончательно согласно чертежу
2101	Вертикально-фрезерная. На призмах. Фрезеровать два сегментных шпоночных паза согласно чертежу		

Примечание. Первые две цифры кода операции характеризуют вид операции; вторые — особенности выполнения операции (средства технологического оснащения и т.д.).

данные о годовом объеме выпуска, определяющие в сочетании с известной массой детали, тип ее производства.

Технологический контроль моделей (блок А1) целью которого является выявление ошибок, несоответствий и нетехнологичных элементов конструкций изготавливаемых деталей, выполняют в диалоговом режиме. Скорректированные модели детали и, при необходимости, заготовки передают для последующего формирования ключа поиска процесса-аналога. Информацию о необходимых изменениях конструкции детали направляют в САД.

Для того чтобы найти процесс-аналог в соответствующей базе, деталь классифицируют (например, с использованием ТКД). По классификационному коду детали определяют деталь-представитель и соответствующий ей ТП, который и принимают за процесс-аналог.

Ключ поиска может дополнительно к коду по ТКД включать информацию, например, об отрасли машиностроения, для которой разрабатывался искомый ТП, времени его разработки, стране разработки и т. д. Однако излишняя информативность ключа поиска снижает надежность последнего и может привести к его полной безрезультатности. В этом случае информативность ключа понижают, игнорируя некоторые его составляющие. Иногда поиск по ключу заменяют примерной («на глаз») классификацией детали с последующим просмотром деталей-представителей близких классификационных групп. Деталь-представитель выбирают визуально с последующим уточнением ее технологических признаков.

Кодирование обобщенных маршрутов также можно выполнять с использованием кода ТКД, указывая в нем наиболее характерные признаки деталей данного типа, подгруппы и т. д. В силу большей, чем, например, у типового ТП информативности, обобщенный маршрут предоставляет проектировщику большие и более удобные для использования возможности по выбору аналога для проектирования.

После ввода ключа собственно поиск аналога осуществляется автоматически в базе технологических процессов-аналогов или соответствующих обобщенных маршрутов. При поиске могут использовать дополнительные критерии выбора, например, предпочтения по минимизации используемых в аналоге групп оборудования и т. д.

Найденный аналог может быть неединственным. В этом случае пользователь, с помощью дополнительных критериев выбора или используя иные предпочтения, принимает решение о выборе единственного, наиболее предпочтительного варианта процесса-аналога. Часто, единственный вариант отбирают на основе визуального сравнения конструкций заданной детали и деталей-представителей.

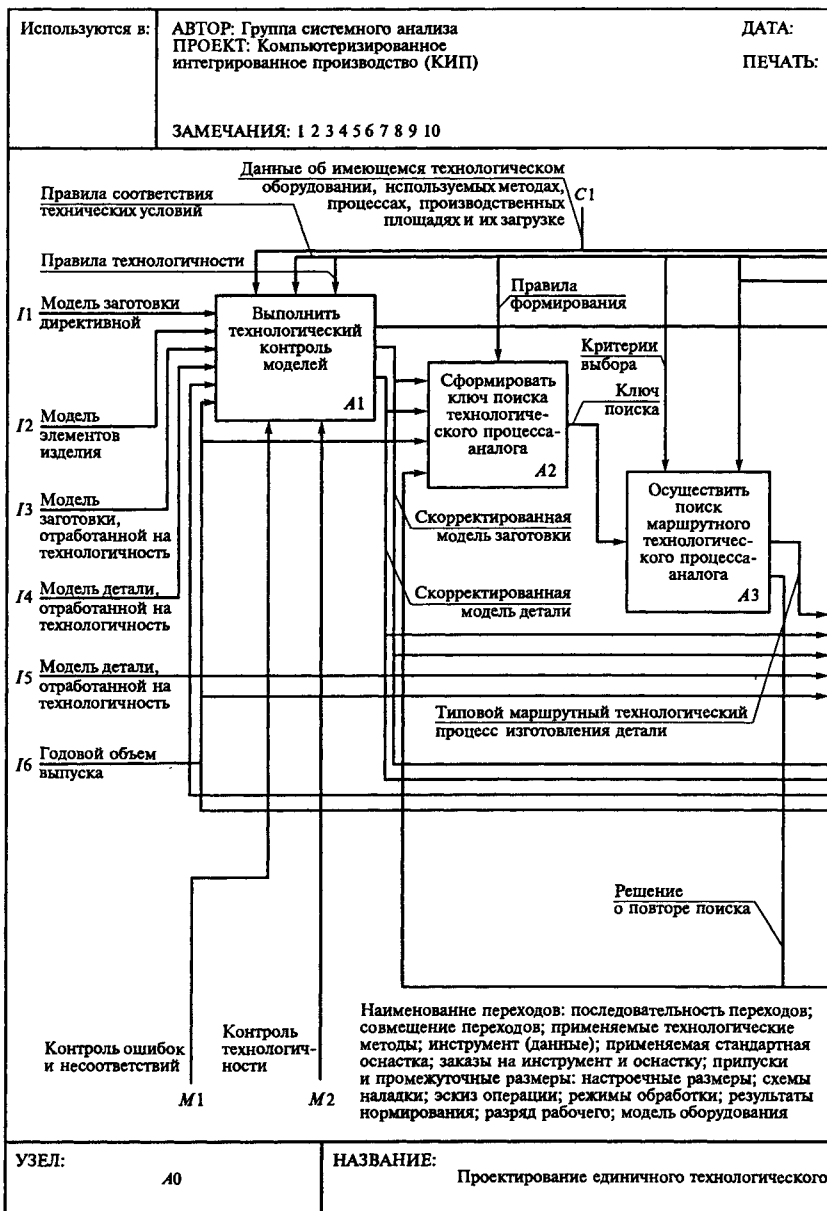
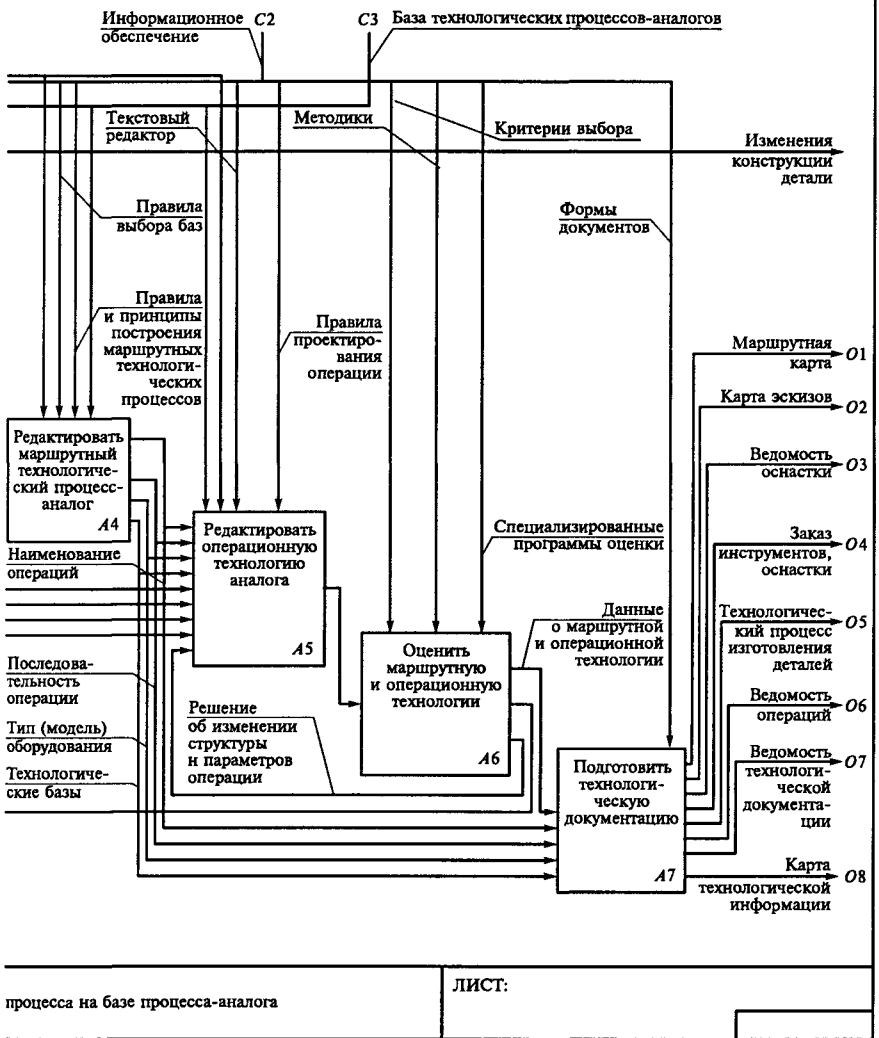


Рис. 2.8. Структурная схема проектирования единичного ТП
 I1 — I6 — входная информация; A0 — A7 — модули проектирования; C1 — C3 — уп

РАБОЧАЯ ВЕРСИЯ	ЧИТАТЕЛЬ	ДАТА	КОНТЕКСТ: А-0
ЭСКИЗ			
РЕКОМЕНДОВАНО			
ПУБЛИКАЦИЯ			



изготовления детали на базе процесса-аналога:

равление; M1—M2 — механизм реализации; O1—O9 — выходная информация

Множество результатов поиска может быть и пустым. В этом случае изменяют ключ, уменьшив число признаков и, соответственно, его информативность, после чего поиск повторяют до тех пор, пока не будет найден приемлемый процесс-аналог.

Выбранный процесс-аналог просматривают. Сравнивают конструктивно-технологические признаки заданной детали и детали-представителя. При их тождественности (или минимальных различиях) принимают решение об использовании процесса-аналога без корректировки, что в особенности характерно для единичного и мелкосерийного производств. Далее выполняют подготовку необходимой технологической документации (блок А7) и завершают работу с системой.

При использовании обобщенного маршрута на его основе выполняют синтез единичного маршрутного ТП. Для этого необходимо решить две задачи:

- выбрать из справочников формулировок (см. табл. 2.2) нужные операции для обеспечения требований качества, предъявляемых к заданной детали;
- определить место каждой операции в проектируемом маршрутном ТП.

Решение этих задач основано на том, что для каждой операции выявляют условия, которые будут определяющими при ее включении в проектируемый ТП. Например, из табл. 2.2 видно, что операции с кодами 1140 и 1155 включают в ТП, если необходима термическая обработка (закалка или улучшение). Из формулировок других операций, например 1147, сразу не вытекают условия их включения в проектируемый ТП. Однако установка ступенчатого вала в патроне и люнете определяется отношением длины вала (L) к приведенному (среднему) диаметру ($D_{пр}$) и необходимостью править центровые фаски, например, после термической обработки вала.

Применяемые заготовки также влияют на выбор операций и их последовательность в проектируемом маршрутном ТП. Заданную точность размеров и формы обработанных поверхностей обеспечивают соответствующими методами обработки, выбор операций легко осуществляется по табличным моделям. Точность расположения обрабатываемых поверхностей зависит от выбранных технологических баз, которые связывают с формулировками операций. Габаритные размеры обрабатываемой детали и их граничные значения, а также объем партии запускаемых в производство изделий в значительной мере влияют на выбор оборудования и технологической оснастки.

Для выбора операций при синтезе единичного маршрутного ТП создают справочники условий.

Фрагмент справочника условий для выбора операций при обработке ступенчатых валов [8]:

Код условия A_i	Условие A_i
A_1	Центральное глубокое отверстие седьмого квалитета
⋮	⋮
A_{17}	Шпоночный призматический паз
⋮	⋮
A_{27}	Шлицы на наружной цилиндрической поверхности
⋮	⋮
A_{51}	Заготовка — горячекатаный прокат
⋮	⋮
A_{53}	Заготовка — штамповка
⋮	⋮
A_{61}	Отклонение от соосности поверхностей вращения $\leq 0,02$
⋮	⋮
A_{65}	Радиальное биение поверхностей детали относительно оси центров $\leq 0,03$
⋮	⋮
A_{67}	Термическая обработка — закалка
⋮	⋮
A_{70}	Термическая обработка — улучшение
⋮	⋮
A_{74}	Шероховатость поверхностей вращения с Ra 0,32...0,16
A_{75}	Шероховатость поверхностей вращения с Ra 1,25...0,63
A_{76}	Шероховатость поверхностей торцов с $Ra \leq 1,25$
⋮	⋮
A_{80}	Число деталей в партии $N \geq 30$
⋮	⋮
A_{83}	Отношение $L/D_{\text{пр}} \leq 12$
A_{84}	Отношение $L/D_{\text{пр}} > 12$
A_{85}	Длина детали $L \leq 200$ мм
A_{86}	Длина детали $L > 200$ мм
A_{87}	Число ступеней $n > 5$
⋮	⋮

Пример использования справочника: операцию обработки ступенчатого вала с формулировкой «Токарная. В патроне и люнете. Подрезать торцы в размер и править центровые фаски согласно эскизу» включают в маршрут при условии $(L/D_{\text{пр}}) > 12$ (условие A_{84}), причем в случае, если перед этим была термическая обработка — улучшение (условие A_{70}). Таким образом, операция должна следовать после термической обработки — улучшения и предикат, определяющий выбор указанной операции, будет иметь вид $A_{70} \wedge A_{84}$. Однако эта же операция может следовать также и после термической обработки — закалки, когда вследствие коробления заготовки необходимо обработать торцы и править центровые гнезда. В этом случае логическая функция будет иметь вид $A_{67} \wedge A_{84}$. Обобщение

сказанного выражает предикат $(A_{70} \wedge A_{84}) \vee (A_{67} \wedge A_{84})$. В общем случае логическая функция выбора k -й операции:

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

где A_i — условие из справочника условий для класса (группы) деталей; n_1 — количество условий, связанных операцией конъюнкции; n_2 — количество конъюнкций, связанных операцией дизъюнкции.

Количество условий, связанных операцией конъюнкции, например, для группы ступенчатых валов, обычно не превышает двух-трех. Для других конструктивных групп их может быть и больше. Это количество устанавливают при разработке справочника условий. Ограничения по количеству дизъюнкций не устанавливают. Таким образом, приведенная выше логическая функция представ-

ляет собой совокупность наборов $f \left(\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i \right)_j$, соединенных между собой логической суммой. Один или несколько таких наборов могут быть включены в логическую функцию. Однако только один из множества наборов однозначно позволяет выбрать операцию для индивидуального маршрута и указать в нем соответствующее ей место. Операция может входить в индивидуальный технологический маршрут для деталей класса (группы), если $f_k = 1$ [8].

Упорядоченный в процессе-аналоге или обобщенном маршруте перечень операций позволяет выполнять структурно-параметрический синтез единичных маршрутных ТП для конкретных деталей с учетом геометрических, технологических и других особенностей (условий).

При использовании в качестве аналогов типовых ТП их преобразование в единичные ТП происходит в результате исключения из их структуры избыточных технологических операций и добавления необходимых. При этом используют аналогичные представленному справочники условий. Преобразование структуры процесса-аналога в структуру единичного ТП изготовления заданной детали называют структурной модификацией процесса-аналога. В большинстве систем данная процедура слабо формализована и выполняется в диалоговом режиме, иногда, с использованием специализированных технологических редакторов.

Структурной модификации аналога обычно предшествует параметрическая (параметрическая настройка). Под параметрической модификацией понимают направленное изменение параметров процесса-аналога с целью его преобразования в единичный ТП изготовления заданной детали, удовлетворяющий заданным требованиям.

Для любого технологического объекта проектирования выделяют:

- параметрические характеристики, определяющие взаимодействие объекта с внешней для него средой;

- внутренние (собственные) параметры объекта.

К параметрическим характеристикам маршрутного ТП изготовления детали, определяющим его взаимодействие, как объекта с внешней средой, относят данные об основном материале (код материала); вид и способ изготовления исходной заготовки; нормы расхода материала; характеристики рабочих мест (номера цеха, участка, рабочего места); коды и наименования оборудования.

Изменения параметров маршрутного ТП, как правило, приводят к необходимости изменения параметров или даже структуры многих его операций. Поэтому часто параметрическую настройку ТП начинают с уровня технологической операции.

К параметрическим характеристикам, определяющим взаимодействие технологической операции с внешней для нее средой, относят входные (до выполнения операции) и выходные (после выполнения операции) значения показателей качества заготовки; наименование и модель оборудования; данные о вспомогательном и режущем инструменте; наладочные размеры; объем операционной партии деталей. Основными собственными параметрами операции являются норма подготовительно-заключительного времени; размеры обрабатываемых поверхностей; режимы обработки; составляющие штучного времени. Некоторые параметры операции являются зависимыми, другие — нет. В частности, основное время, как одна из составляющих штучного времени, прямо зависит от размеров обрабатываемых поверхностей и режима обработки.

Желательно, чтобы преобразование процесса-аналога в единственный ТП, отвечающий заданным требованиям, происходило при минимальных изменениях (модификации) аналога. Это снижает трудоемкость проектирования и сокращает длительность ТПП. При параметрической модификации учитывают, что влияние различных параметров на результат проектирования и их роль в этом процессе различны. В частности, при параметрической модификации операций-аналогов изменения некоторых параметров вполне допустимы, других — нежелательны, так как влекут за собой необходимость изменения структуры операций. Модификация принимает характер структурно-параметрической, что часто ведет к потере преимуществ, которые дает использование аналогов.

Параметрической модификации должен предшествовать обязательный анализ, целью которого является выявление множества тех параметров, изменения которых не только допустимы, но и обеспечивают высокое качество проектных решений.

В основе значительного числа САПР ТП лежит конструкторско-технологическая параметризация. Используют параметризованные

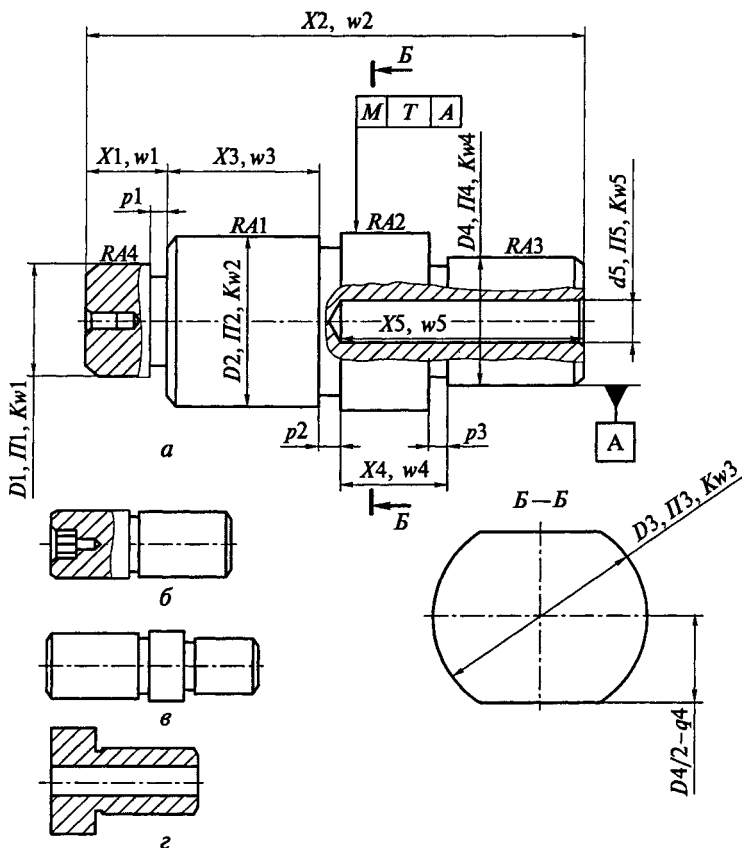


Рис. 2.9. Параметризованный чертеж детали-представителя и деталей, спроектированных на его основе:

a — деталь-представитель; *б* — палец; *в* — вал ступенчатый; *г* — втулка с буртиком; *M*, *T* — вид и значение отклонения взаимного расположения поверхностей

модели объекта производства (детали) и объекта проектирования (ТП и его элементов). Изменяемые параметры моделей рассматривают как переменные.

При конструкторской параметризации, задавая нужные значения конструктивно-технологических параметров модели (чертежа) объекта, например, детали-представителя (рис. 2.9, *a*), получают конкретные (желаемые) экземпляры объекта проектирования (рис. 2.9, *б—г*).

К изменяемым параметрам относятся наименование и шифр детали; марка конструкционного материала; характеристики полуфабриката (исходной заготовки); размеры поверхностей (см. рис. 2.9, *a*) — линейные ($X_1, \dots, X_5; p_1, \dots, p_3$), диаметральные на-

ружные ($D1, \dots, D5$), диаметральные внутренние ($d5$); показатели качества обрабатываемых поверхностей — отклонения линейных размеров ($w1, \dots, w9$), отклонения (посадки) и качества точности Kw диаметральных размеров ($P1, \dots, P5; Kw1, \dots, Kw5; q4$ — нижнее предельное отклонение размера $D4$). Параметры шероховатости ($RA1, \dots, RA4$); отклонения взаимного расположения поверхностей и др. Для параметризованного чертежа (модели) детали перечень изменяемых конструкторских параметров обычно приводят в списке переменных.

Диапазоны изменения конструкторских параметров различны. Равенство нулю любого из размеров (за исключением габаритных) означает отсутствие у проектируемой детали соответствующей поверхности (например, отверстия: $X5 = 0$). Габаритные размеры проектируемой детали равны нулю быть не могут. Параметры шероховатости и отклонения размеров могут указываться явно или по умолчанию.

При технологической параметризации, изменяя параметры модели объекта проектирования (например, технологической операции), стремятся получить его единичный экземпляр, полностью соответствующий условиям применения. К числу изменяемых технологических параметров относят следующие характеристики переходов или операций: шифр и наименования операции и оборудования; параметры текстов переходов; показатели качества поверхностей после обработки и т.д. Для разработанного ранее ТП принимают в качестве переменных подлежащие изменению конструкторские и технологические параметры.

Обычно, параметризованная модель, например технологической операции, представляет собой текст операционной карты, в котором изменяемые параметры указаны в виде символов. Задав желаемые значения этих символов, пользователь получает, по основной идее метода параметризации, единичный текст операционной карты.

В ряде САПР ТП используют параметризованные описания содержания операций ТП-аналога. Такие описания называют параметризованными копиями. В их текстах вместо численных значений соответствующих характеристик и параметров указаны символы «пробел». Пользователь должен вместо пробела указать необходимые для конкретной детали численные значения, выполнить необходимое редактирование, и текст операции считается готовым, а параметрическая настройка — завершенной.

Процесс проектирования в таких САПР ТП может привести к принципиальным ошибкам и поэтому требует постоянного внимания квалифицированного технолога.

Рассмотрим пример. Ниже приведен фрагмент текста карты токарно-винторезной операции-аналога, предложенного пользователю системой.

1. УСТАНОВИТЬ ЗАГОТОВКУ В ПАТРОН И ЗАКРЕПИТЬ ПАТРОН 3-х КУЛАЧКОВЫЙ, ГОСТ
2. ПОДРЕЗАТЬ ТОРЕЦ В РАЗМЕР \square РЕЗЕЦ ПОДРЕЗНОЙ, ГОСТ
3. ТОЧИТЬ НАРУЖНЮЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ В РАЗМЕР \square НА ДЛИНЕ \square РЕЗЕЦ ПРОХОДНОЙ, ГОСТ

.....

СНЯТЬ ЗАГОТОВКУ.

Данный пример при отношении длины исходной заготовки к среднему (приведенному) диаметру меньшем 3—5 соответствует в целом правильно определенному содержанию операции. При большем значении этого отношения текст ошибочно отражает содержание операции, так как для ее выполнения необходима установка заготовки в центрах. Используемое приспособление становится иным, подрезка торца затруднена. Требуется изменение технологической оснастки, а, возможно, и структуры операции.

При использовании параметризованных моделей перманентное изменение параметра может привести к скачкообразному изменению технологического решения и, в частности, изменению структуры объекта проектирования. Формирование проектного решения требует обязательного участия специалиста. Решение становится субъективным, зависящим от опыта и знаний проектировщика.

В современных интегрированных САПР ТП все чаще используют конструкторско-технологическую параметризацию. В этих системах предусмотрена возможность отслеживания изменения структуры ТП при изменении параметров конструкции проектируемой детали. Если в рассмотренном выше примере для детали — вала отношение длины исходной заготовки к среднему диаметру будет больше 3—5, то параметрическую настройку будут выполнять для операции-аналога, предусматривающей обработку заготовки в центрах.

Возможно представление ТП-аналога в табличной форме. Каждая строка такой таблицы содержит информацию о технологических операциях и переходах процесса-аналога. Столбцами таблицы являются характеристики операций и переходов. На пересечении строки и соответствующего столбца указывают значение, равное 0 или 1 в зависимости от соотношений конструктивных параметров детали. Например, если у детали отсутствует лыска (высота лыски равна 0), то автоматически из текста ТП удаляются переходы ее фрезерования. Если шероховатость наружной поверхности детали — тела вращения (вал, втулка и т. д.) более $Ra\ 2,5$ — из текста удаляют круглошлифовальные операции. Если в технических требованиях нет указаний на значения твердости HRC — удаляют операции термической обработки. Так выполняют автоматизированную

настройку процесса-аналога на технологию изготовления заданной детали.

Таким образом, в САПР ТП на базе использования процессов-аналогов разработка единичного ТП сводится к редактированию процесса-аналога в соответствии с конструктивно-технологическими особенностями детали, для которой этот процесс и разрабатывают. При этом может измениться как структура процесса-аналога (вследствие включения в него или, наоборот, удаления некоторых операций), так и содержание самих технологических операций. Возможно проведение необходимых технологических расчетов по определению режимов обработки, нормированию операций и т. д.

Решения, принятые в процессе проектирования и представленные параметрами маршрутной и операционной технологии, оценивают. При оценке используют различные количественные (технико-экономические) и качественные критерии. Если параметры спроектированной маршрутной (или) операционной технологии не отвечают поставленным критериям, то принимают решение об изменении ТП. В зависимости от степени несоответствия параметров ТП поставленным критериям необходимые изменения вносят либо на этапе редактирования, либо на этапе выбора процесса-аналога. В последнем случае возможна корректировка конструкторско-технологического кода детали и поиск нового процесса-аналога с выполнением всех последующих этапов разработки.

Параметры разработанного ТП представляют в технологической документации в формах, установленных стандартами ЕСТД (см. гл. 1).

Областью применения рассматриваемых САПР ТП является единичное и серийное производство, характеризующееся частой сменой предмета производства. Желательно, чтобы изготавливаемые детали при всех различиях конструктивно-технологических параметров, обладали определенным подобием. Это позволит в полной мере использовать преимущества рассматриваемых систем при формировании высокоэффективных проектных решений.

2.5. Структура систем автоматизированного синтеза единичных технологических процессов

Создание систем автоматизированного синтеза единичных ТП на основе конструктивно-технологических параметров предмета производства (в частности — детали) является одной из наиболее актуальных и нерешенных пока проблем автоматизации проектирования. Главной причиной этого является отсутствие общего решения проблемы синтеза структур объектов проектирования инвариантного их классу.

Известен ряд концептуальных подходов к решению проблемы синтеза структур ТП. Однако каждый из них обладает рядом недостатков, в том числе и принципиальных, которые делают невозможным создание эффективно работающих САПР ТП на их основе.

При обеспечении поддержки решений, принимаемых и реализующихся в ПТЦ, наиболее целесообразна автоматизация синтеза маршрутных ТП, в частности, изготовления деталей, одна из современных концепций которой излагается ниже [9].

Рассматриваемая концепция предполагает:

- отказ от копирования действий человека — проектировщика ТП;
- штатный режим работы системы — пакетный, реализующийся по завершении интерактивного ввода исходных данных;
- использование в качестве элементарной структурной единицы, на базе которой формируют маршрутный ТП, технологического метода.

Концептуальная модель автоматизированной системы синтеза маршрутных ТП изображена на рис. 2.10.

В системе определяют состав и последовательность технологических операций, но не строят структуру последних.

Входные данные системы включают в себя:

- конструктивно-технологические параметры детали и заготовки, которые могут формироваться в САД, а затем импортироваться;
- организационно-производственные данные (объем выпуска детали, объем производственной партии, вид (код) заготовки, ее размеры, единицы нормирования, номера цеха, участка и т.д.);
- данные о технологических возможностях и ресурсах производства.

Геометрическо-технологическое моделирование заготовки и детали (блок 1) выполняют с использованием специализированной графической среды. Деталь представляют упорядоченной совокупностью комплексов поверхностей, объединяемых общностью технологии формообразования. Для каждого комплекса генерируют (блок 2) множество элементарных маршрутов его обработки, элементы которого после селекции становятся информационной основой для выполнения собственно синтеза единичного маршрутного ТП.

Синтез ТП (блок 3) выполняют в пакетном режиме за два последовательных этапа: макетирования и корректировки маршрутного ТП.

Макет маршрутного ТП формируют «от готовой детали к заготовке» объединением переходов различных элементарных маршрутов обработки комплексов (ЭМОК) в макеты операций на базе общности групп используемого оборудования и множеств возможных схем установки (СУ) заготовки. Последовательность макетов

Каталог Т-комплексов

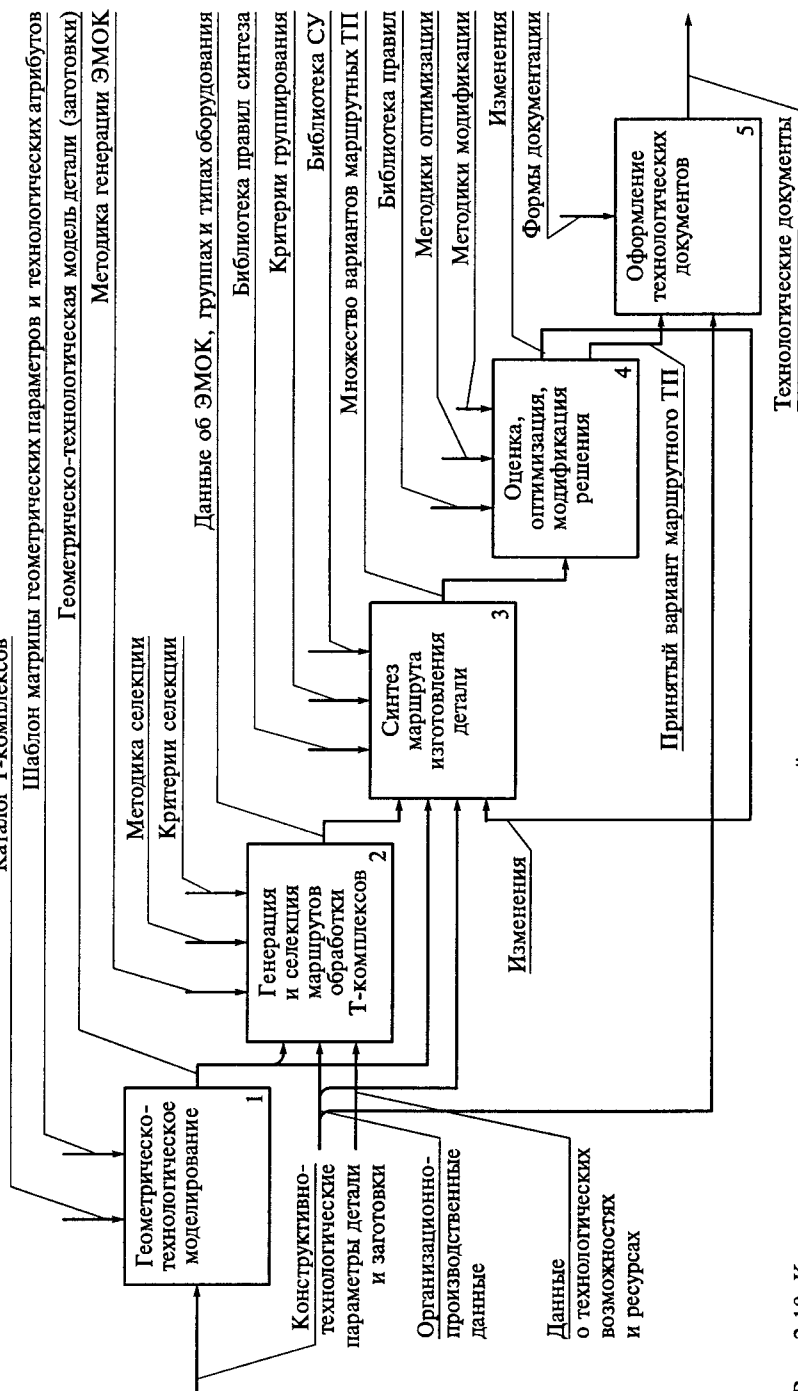


Рис. 2.10. Концептуальная модель автоматизированной системы синтеза маршрутных ТП изготовления деталей

операций устанавливают, используя априорное разделение ТП по этапам (см. табл. 2.1).

Макет маршрутного ТП — первичное проектное решение, нуждающееся в корректировке.

Корректировку макета маршрутного ТП выполняют «от заготовки к готовой детали». Поверхности, обработка которых описана в макетах операций, связывают технологическими базами, допускающими их обработку. При этом может изменяться последовательность и содержание технологических операций. Учитывают общетехнологические принципы построения процессов изготовления деталей [2].

Сформированное множество маршрутных ТП оценивают (блок 4) прежде всего по технологической непротиворечивости полученных результатов. Варианты ТП, содержащие противоречащие общетехнологическим правилам фрагменты, исключают из рассмотрения. При необходимости над множеством вариантов ТП выполняют процедуры оптимизации. Для принятого варианта оформляют технологические документы (блок 5).

Геометрическо-технологическую модель предмета производства, используемую при синтезе ТП, формируют из элементов, называемых технологическими комплексами поверхностей.

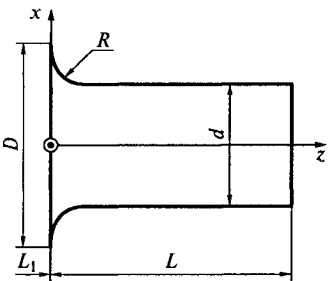
Технологический комплекс (Т-комплекс) — совокупность поверхностей различных типов, которые могут быть обработаны совместно при непрерывном движении инструмента по заданной траектории или обработаны комплектом последовательно используемых инструментов при реализации ЭМОК. Каждому Т-комплексу ставят в соответствие множество технологических методов, которые в зависимости от условий производства и требований к качеству обработки могут быть использованы отдельно или в совокупности, как переходы ЭМОК, для совместной обработки всех поверхностей, образующих Т-комплекс. Фрагмент каталога Т-комплексов представлен в табл. 2.3.

Основные аспекты моделирования предметов производства с использованием Т-комплексов рассмотрены в гл. 4.

Элементарные маршруты обработки комплексов — совокупность технологических переходов, последовательное выполнение которых ведет к формообразованию множества поверхностей данного Т-комплекса и обеспечению предъявляемых к ним требований качества. ЭМОК не хранят в готовом виде, а генерируют вновь для каждого конкретного сочетания требований качества, предъявляемых к поверхностям Т-комплекса и условиям их обработки. Для каждого Т-комплекса разработаны графы генерации ЭМОК.

При генерации ЭМОК используют данные об объеме выпуска, определяющие тип производства, а также наиболее общие правила, дополнительно характеризующие условия применимости конкретного технологического метода. В результате для каждого

Таблица 2.3. Фрагмент каталога Т-комплексов

Идентификатор	Эскиз комплекса	Технологические методы	Тип производства
<i>P11</i>		Фрезерование цилиндрическое Шлифование (прямоугольный стол) Накатывание Фрезерование торцевое Шлифование (круглый стол) Притирка Строгание Протягивание Шабрение	* * С * С * Е, МС С *
⋮	⋮	⋮	⋮
<i>СЕР11</i>		Обтачивание Притирка Шлифование абразивной лентой Шлифование круглое Продольное шлифование круглое врезное	* С С * *
⋮	⋮	⋮	⋮

Примечание. Е, МС, С — соответственно единичный, мелкосерийный, серийный типы производства; * — все типы производства.

Т-комплексы формируют множество вариантов ЭМОК, мощность которого зависит от состава исходных технологических методов, а также диапазонов значений показателей качества соответствующих поверхностей.

Для каждого варианта ЭМОК определены:

- идентификатор Т-комплекса, типы и геометрическо-технологические параметры входящих в него поверхностей;
- порядковый номер ЭМОК, список входящих в него технологических переходов;
- данные по переходам: порядковый номер перехода в ЭМОК; реализующийся в переходе технологический метод; показатели

качества заготовки до обработки методом текущего перехода; показатели качества заготовки после обработки методом текущего перехода; приоритетная группа оборудования (ГО) для реализации перехода; группа инструментов; список идентификаторов возможных СУ заготовок.

Для каждого Т-комплекса генерируют несколько вариантов ЭМОК, однако, если их число превосходит три, автоматизированный синтез маршрутного ТП становится затруднен технически. Необходимо уменьшение числа вариантов ЭМОК, что достигают их селекцией (отбором).

Целью селекции является не выбор единственного варианта ЭМОК для каждого комплекса, а сокращение числа этих вариантов до минимума, не оказывающего влияния на объективность и качество результатов последующего синтеза маршрутных ТП.

При селекции ЭМОК последовательно применяют следующие критерии: ожидаемые суммарные затраты на выполнение ЭМОК; однородность ГО и множеств используемых СУ в различных ЭМОК и внутри каждого ЭМОК.

Расчет затрат на выполнение каждого перехода и ЭМОК в целом носит приближенный (оценочный) характер и может выполняться в относительной форме с использованием, например, коэффициента машиночаса.

Критерии однородности отражают доказанное положение о желательности сокращения номенклатуры используемых средств технологического оснащения. Для конкретного Т-комплекса из всех вариантов ЭМОК наиболее предпочтительными являются те, для реализации которых используется минимальное число различных ГО и минимальное число различных СУ заготовок. Методика генерирования и селекции ЭМОК, а также необходимое информационное обеспечение представлены в [10].

Синтез маршрутного ТП (рис. 2.11) начинают с предварительного определения содержания и последовательности технологических операций. Предварительно определенное содержание операции называют ее макетом.

Макет операции — информационный объект следующей структуры:

{НОМЕР ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ТИП ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ, {{НОМЕР ПЕРЕХОДА ПОРЯДКОВЫЙ, МЕТОД, {ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ДО ОБРАБОТКИ, ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ}}}, ИДЕНТИФИКАТОР ОБОРУДОВАНИЯ, ГРУППА, ТИП ОБОРУДОВАНИЯ, {СХЕМА УСТАНОВКИ}.

Макет не является полностью и окончательно сформированной операцией. Его можно создавать, сохранять, трансформировать и уничтожать. Упорядоченная последовательность макетов

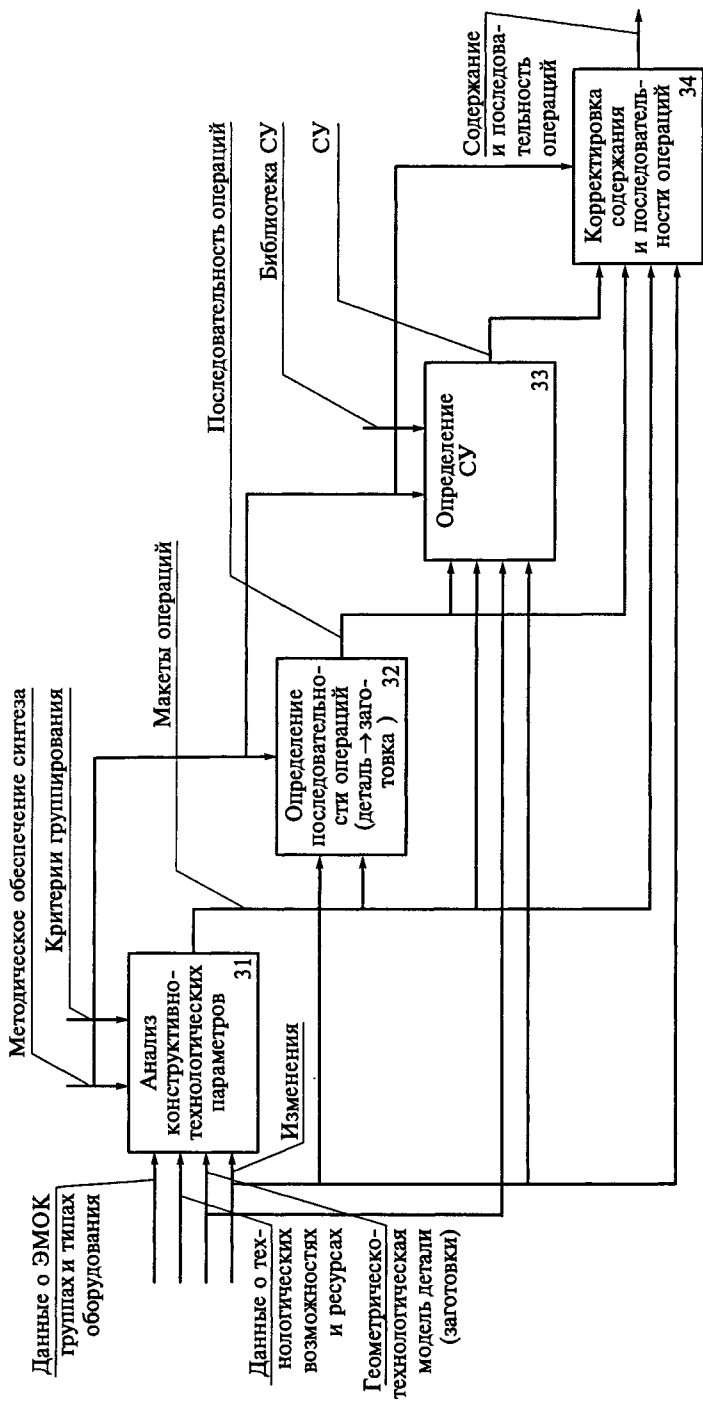


Рис. 2.11. Структурная схема синтеза маршрутных ТП изготовления деталей

операций образует макет ТП, который впоследствии можно модифицировать (изменять).

В зависимости от типа производства автоматически выбирается стратегия синтеза. В единичном и среднесерийном производстве используют стратегию концентрации: формируют операции, содержащие максимально возможное число технологических переходов обработки максимального числа поверхностей.

В крупносерийном и массовом производстве применяют стратегию дифференциации: число переходов в операции ограничено необходимостью соответствия штучного времени такту выпуска.

В связи с подавляющим преобладанием предприятий с единичным и среднесерийным типами производства рассматриваем только стратегию концентрации.

На рис. 2.12 показан алгоритм макетирования маршрутного ТП при его синтезе. Совокупность необходимых исходных данных см. рис. 2.11.

В результате анализа заданных значений показателей качества обрабатываемых поверхностей деталей, входящих в состав Т-комплексов, определяют (см. табл. 2.1) номер этапа ТП, на котором завершается изготовление детали. Номер этапа (N_3) является максимальным в формируемом процессе и фиксируется. Задают номер (n_ϕ) формируемой операции. Так как макетирование ТП ведут «от детали к заготовке», то для последней операции процесса $n_\phi = 1$.

Определяют (блок 4, см. рис. 2.12) подмножество поверхностей, обработка которых заканчивается на этапе N_3 . Так как каждая из них принадлежит соответствующему Т-комплексу, для которого определен (и отобран) ЭМОК, то выделение указанного множества поверхностей автоматически означает, что определены переходы (элементы множества ЭМОК детали), выполнение которых завершается на этапе N_3 .

В одну операцию могут в принципе быть объединены переходы (в том числе и относящиеся к разным ЭМОК), не только выполняющиеся или завершающиеся на этапе N_3 , но и переходы, выполняющиеся на предшествующем этапе ($N_3 - 1$). В самом деле, в одной операции могут выполнять переходы, относящиеся, например, к черновой и получистовой обработке или к получистовой и чистовой обработке.

Для каждого перехода, который в принципе мог бы быть выполнен в формируемой операции, определяют ГО, реализующего его и множество возможных СУ.

Сочетание признаков $\{ГО, \{СУ\}\}$ составляет основу ключа группирования переходов в операции. Для потенциально объединяемых переходов ключей группирования может быть несколько. Каждое из подмножеств объединяемых переходов является основой для формирования альтернативных вариантов маршрутного ТП.

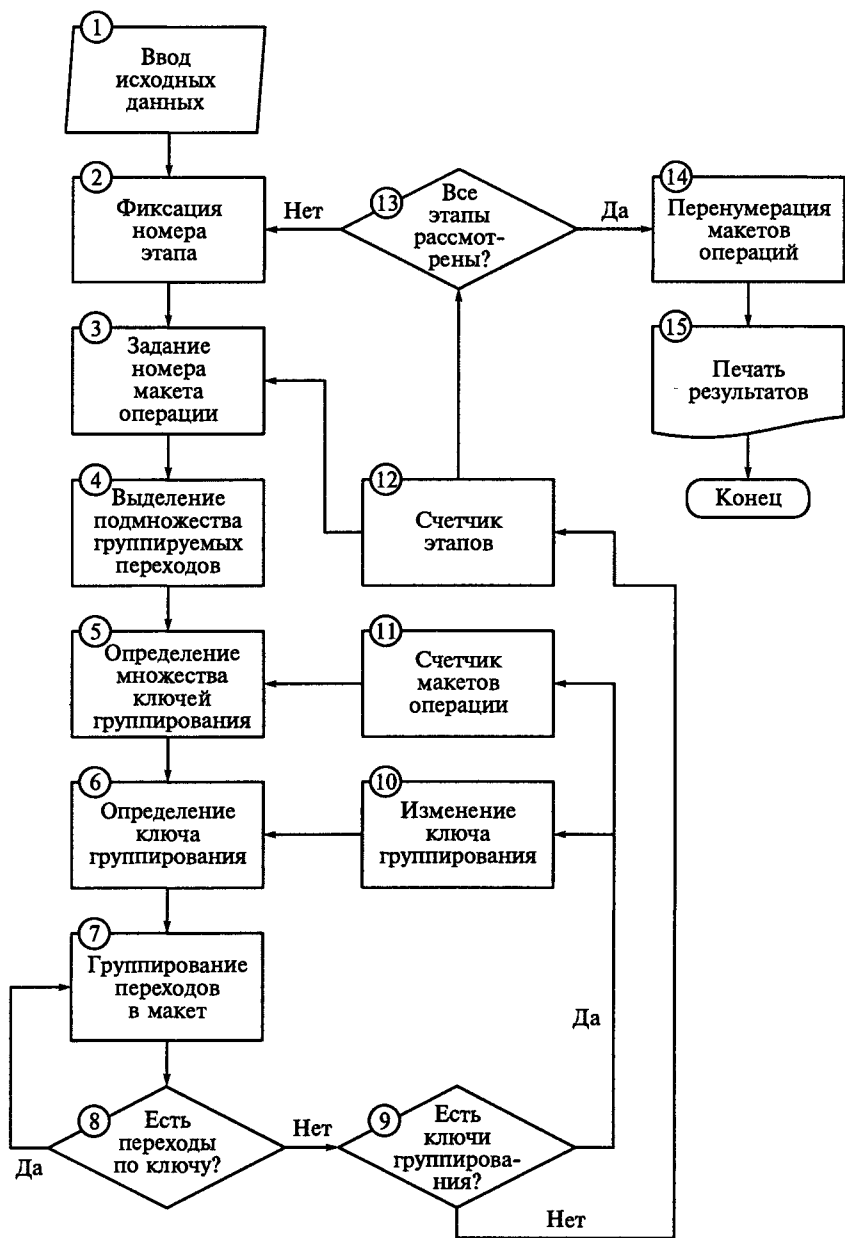


Рис. 2.12. Алгоритм макетирования маршрутного ТП изготовления деталей

На множестве ключей группирования устанавливают приоритетный порядок перебора его элементов при макетировании ТП. Наивысшим приоритетом обладает ключ группирования, соответствующий подмножеству переходов, обеспечивающих максимальное приближение состояния качества обрабатываемой поверхности заготовки к зоне, соответствующей состоянию качества поверхностей готовой детали.

Установление приоритетов ключей группирования по предложенному принципу имеет ясную технологическую интерпретацию: чем более высокие требования качества предъявляют к поверхности детали, тем позже эту поверхность обрабатывают окончательно в ходе ТП изготовления детали, или порядок технологических операций в целом обратен требованиям к качеству поверхностей заготовки, обеспечиваемым в каждой из них.

Принцип группирования иллюстрирует рис. 2.13: множество переходов $\{P_{53}, P_{54}, \dots, P_{k2}, P_{k3}\}$ с ключом группирования $\{ГО\{СУ\}\}_3$ обладает наивысшим приоритетом, где $1, \dots, k$ — номера ЭМОК; $P_{i,j}$ — j -переход i -го ЭМОК; IT — квалитет точности; N_s — номер этапа ТП; D — зона готовой детали; Z — зона заготовки. Макет операции будет сформирован на основе объединения указанных переходов. Переходы, для которых выполняются условия группирования, включают в операцию n_{ϕ} и одновременно исключают из соответствующих ЭМОК.

При отсутствии переходов, удовлетворяющих условиям группирования, при фиксированном ключе и наличии других ключей счетчик макетов (см. рис. 2.12) операций задает номер следующей из них, а управление синтезом передают ключу максимального приоритета из оставшихся. Если ключей группирования для рассматриваемого этапа N_s больше нет, счетчик уменьшает номер этапа: $N_s = N_s - 1$. Описанные действия продолжают пока $N_s > 1$. При $N_s = 0$ выполняют перенумерацию макетов операций (от заготовки к детали) и выдачу результатов на экран монитора или устройство печати.

Сформированные макеты операций могут быть избыточными по числу включенных переходов и не отвечать ряду формальных требований к содержанию (составу) операций. Аналогичными недостатками может обладать и сформированная последовательность операций (макетов). Это вызывает необходимость в корректировке макета маршрутного ТП.

Установку заготовки при выполнении технологической операции определяют ее базы и схема закрепления, характеризующая место и направления действия сил закрепления заготовки. В настоящее время отсутствуют САПР ТП, в которых СУ определяется автоматически (или при минимальном диалоге пользователя с системой).

В результате анализа СУ, использующихся при изготовлении деталей, выявлено следующее:

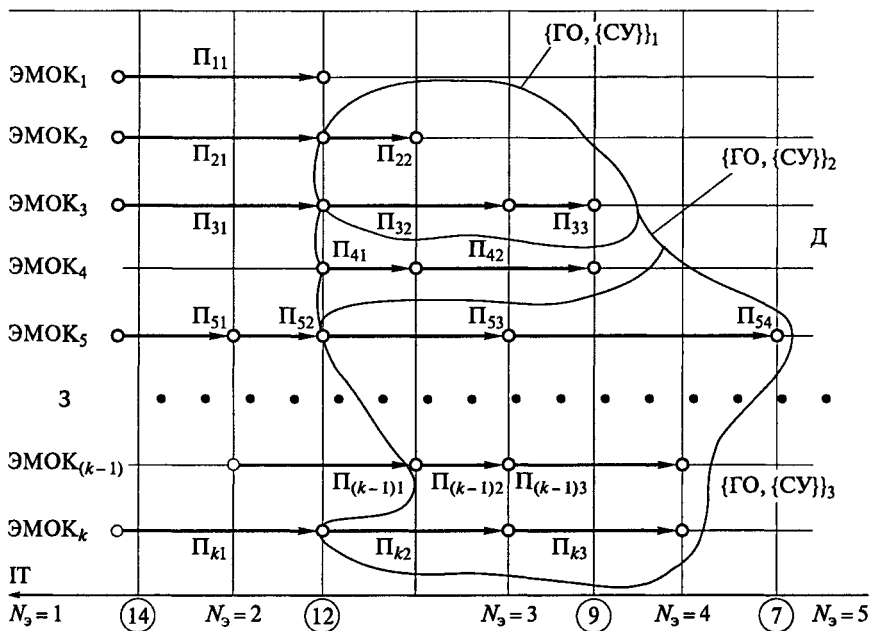


Рис. 2.13. Иллюстрация принципа группирования переходов при макетировании ТП, разделяемого на этапы на основе точности

- при установке используют не более четырех поверхностей заготовки;
- в СУ используют элементарные поверхности следующих основных типов: наружная цилиндрическая, внутренняя цилиндрическая, внутренняя коническая, плоскость;
- установочными базами чаще всего служат поверхности главных форм и функционально базовые поверхности (например, центровые отверстия).

Выбору СУ должно предшествовать генерирование максимально возможного числа их альтернативных вариантов. Генерируемые варианты СУ не должны противоречить общетехнологическим принципам и правилам [2].

Любая СУ может быть представлена в следующей форме:

УСТАНОВКА ($b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$),

где b_1, \dots, b_6 — номера поверхностей заготовки; b_1, b_2, b_3 — номера поверхностей, являющихся только установочными базами; b_4, b_5, b_6 — номера поверхностей, являющихся как установочными базами, так и зажимными поверхностями. Данное представление СУ используют для их автоматизированной генерации и идентификации, осуществляемых в соответствии с рис. 2.14. Первые буква и

Установочные базы и зажимные поверхности														
			Плоскость			Наружный цилиндр			Внутренний цилиндр			Внутренний конус		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Установочные базы	Плоскость	1	ПП11	ПП12	ПП13	ПН11	ПН12	ПН13	ПВ11	ПВ12	ПВ13	ПК11	ПК12	
		2	ПП21	ПП22	ПП23	ПН21	ПН22	ПН23	ПВ21	ПВ22	ПВ23			
		3	ПП31	ПП32	ПП33				ПВ31					
Наружный цилиндр	Плоскость	1	НП11	НП12	НП13	НН13	НН12	НН13	НВ11	НВ12	НВ13			
		2	НП21	НП22	НП23	НН21	НН22	НН23	НВ21	НВ22	НВ23			
		3				НН31	НН32	НН33						
Внутренний цилиндр	Плоскость	1	ВП11	ВП12					ВВ11	ВВ12				
		2	ВП21	ВП22					ВВ21	ВВ22				
		3	ВП31											
Внутренний конус	Плоскость	1												
		2												
		3												

Рис. 2.14. Генератор схем установки заготовок

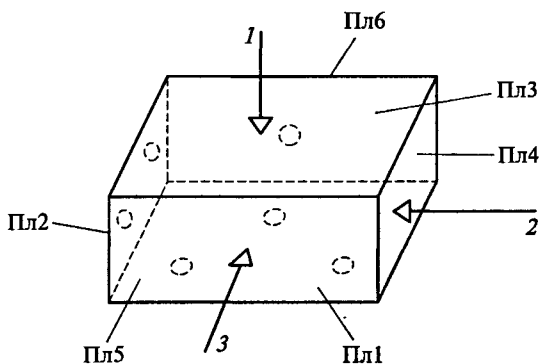


Рис. 2.15. Варианты реализации СУ ПП13:

1—3 — при различных направлениях силы закрепления; Пл1—Пл6 — плоские поверхности заготовки, которые в принципе могут использоваться при ее установке

цифра идентификационного номера СУ указывают тип и количество поверхностей заготовки, являющихся только установочными базами, вторая буква и цифра определяют тип и количество поверхностей заготовки, являющихся установочными и (или) зажимными. На рис. 2.15 изображены варианты реализации схемы ПП13, отличающиеся лишь номером зажимной поверхности:

- ПП13 = УСТАНОВКА (Пл1, 0, 0, Пл2, Пл6, Пл3);
- ПП13 = УСТАНОВКА (Пл1, 0, 0, Пл2, Пл6, Пл4);
- ПП13 = УСТАНОВКА (Пл1, 0, 0, Пл2, Пл6, Пл5).

Схемы, изображенные на рис. 2.16, описывают одним отношением:

$$\text{ПН11} = \text{УСТАНОВКА} (\text{Пл1}, 0, 0, \text{Н}, 0, 0).$$

Налицо неоднозначность при идентификации СУ, однако, для целей проектирования она не имеет существенного значения или даже играет положительную роль, так как при одном и том же описании расширяет число альтернатив, подлежащих анализу.

Любую из СУ можно реализовать только при выполнении определенных условий, накладываемых на геометрические и технологические параметры базовых поверхностей заготовки (табл. 2.4).

Наиболее общие условия реализуемости определены для основных СУ, применяемых в машиностроении [11].

Автоматизированную генерацию СУ осуществляют следующим образом:

- формируют геометрическо-технологическую модель заготовки в состоянии, соответствующем определенному этапу (операции) ТП. Идентифицируют поверхности заготовки;

- выполняют последовательный перебор сочетаний поверхностей и на их основе представляют СУ в приведенной форме;
- для каждого формального представления СУ проверяют возможность ее реализации. Если для данного сочетания поверхностей выбранную схему реализовать невозможно, его исключают из рассмотрения;
- для СУ, реализация которых возможна, в пакетном режиме выполняют различные проверки, оценки и другие действия, необходимые при решении задач проектирования.

Определение СУ для первой и последующих операций проектируемого ТП принципиально различаются. В первой операции ТП используют (и только один раз) черные установочные базы. Во второй и последующих операциях заготовку устанавливают на уже обработанные поверхности. Базовые поверхности должны быть обработаны в операциях, предшествующих выполняемой.

Выбор варианта СУ для первой операции основан на положении: выбранная СУ должна обеспечивать возможность обработки (доступа) для максимального числа поверхностей из их множества, запланированных для обработки в первой операции. Обработанные при выбранном варианте СУ поверхности маркируют и далее — при выборе СУ для последующих операций постоянно учитывают текущее состояние предмета производства.

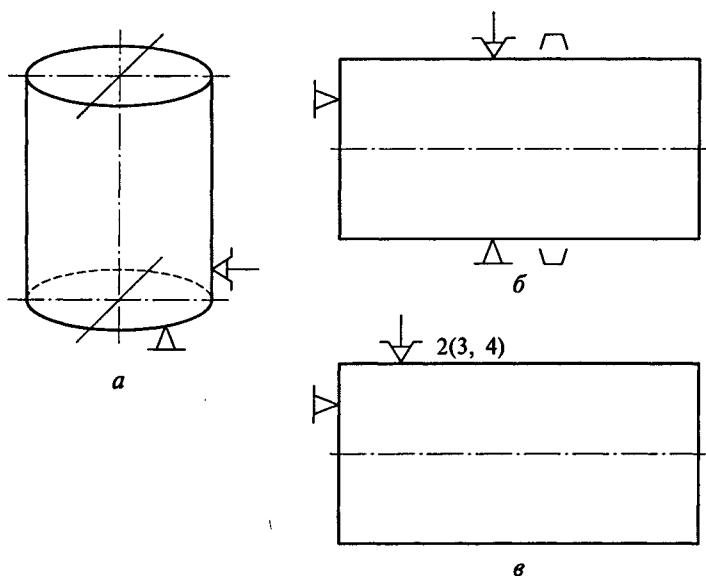
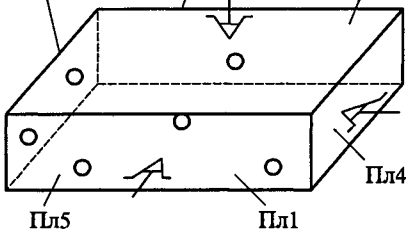
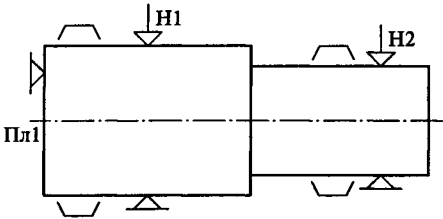
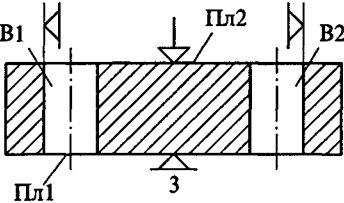


Рис. 2.16. Варианты (а—в) реализации СУ ПН11:
2—4 — число кулачков в приспособлении — патроне

Таблица 2.4. Условия реализации СУ

Идентификатор; описание	Графическая схема	Условия реализации
ПП13; У(Пл1, 0, 0, Пл2, Пл6, Пл4)		$Пл2 \perp Пл1$ $Пл3 \parallel Пл1$ $Пл1 \neq Пл2 \neq Пл3$
∴	∴	∴
ПН12 У(Пл1, 0, 0, Н1, Н2, 0)		$Н1 \neq Н2$ $Н1 \perp Пл1$ $Н2 \perp Пл1$
∴	∴	∴
ПВ13; У(Пл1, 0, 0, В1, В2, Пл2)		$Пл1 \neq Пл2$ $В1 \neq В2$ $В1 \perp Пл1$ $В2 \perp Пл1$ $Пл2 \parallel Пл1$ $В1 \parallel В2$

Примечание. Пл — плоскость; Н — наружная цилиндрическая поверхность; В — внутренняя цилиндрическая поверхность.

Применение той или иной СУ разделяет поверхности заготовки на две группы:

- поверхности, которые не могут быть обработаны при данной СУ (поскольку являются базовыми или закрыты элементами приспособления);

- поверхности, которые могут быть обработаны.

При разделении указанных поверхностей (определении зон возможной обработки) учитывают группу, тип оборудования, ориентацию его рабочего пространства. Общее решение данной зада-

чи затруднительно, поэтому используют комплект частных решений с упрощающими допущениями.

Выявлено общее правило, определяющее для поверхностей заготовки возможность их обработки при одном установе: любые две поверхности, взятые из макета операции могут быть обработаны при одном установе заготовки, если тождественны используемые при этом СУ, сочетания базовых поверхностей, группа и тип приспособления.

Правила выделения зон возможной обработки и определения возможности обработки за один установ позволяют выделить поверхности, обрабатываемые в данной операции, и тем самым установить ее состав. С этого момента начинают корректировку содержания и последовательности операций.

Содержание операций, представленное в макетах, пересматривают с позиций обеспечения его наиболее полной реализации при выбранной СУ и возможном изменении последней. Выполняют генерацию и селекцию альтернативных вариантов фрагментов маршрутного ТП. Анализ и корректировку макетов операций осуществляют в направлении «заготовка-деталь».

Корректировку содержания и последовательности операций выполняют, пока не будут связаны базами все обрабатываемые поверхности и не сформированы все соответствующие операции. При синтезе формируют альтернативные варианты маршрутного ТП. Это связано с наличием например различных ключей группирования, альтернативности СУ, приводящих к различным продолжениям маршрутного ТП и т. д.

Предусмотрено «параллельное» формирование и рассмотрение альтернатив с определением необходимых (указываемых пользователем САПР ТП) итоговых технико-экономических показателей проектного решения. По этим показателям в последующем осуществляют оптимизацию маршрутного ТП.

В алгоритмах рассмотренной системы синтеза ТП широко используют технологические эвристики. Эвристика представляет собой частный (неполный) метод решения какой-либо задачи. Обычно это эмпирическое правило или стратегия.

Для предварительного определения содержания и последовательности операций используют следующие правила.

1. Начальными операциями процесса должны быть операции обработки технологических баз (промежуточных или окончательных). Их выполняют на черновом или получистовом этапах процесса изготовления детали. Операции обработки баз у тел вращения должны содержать обработку торцевых поверхностей.

2. Последовательность обработки зависит от системы простановки размеров на рабочих чертежах деталей: в начало ТП выносят обработку поверхностей, относительно которых на чертеже координировано наибольшее количество других поверхностей.

3. При невысокой точности исходной заготовки сначала обрабатывают поверхности, имеющие наибольшую толщину удаляемого материала (для раннего выявления дефектов заготовок).

4. Чем точнее поверхность, тем позже она обрабатывается окончательно в общем ТП изготовления детали.

5. Операции обработки поверхностей, имеющих второстепенное значение и не влияющие на точность основных размеров деталей (мелкие отверстия, фаски, канавки и т. п.), следует выполнять на чистовом этапе процесса, до операций окончательной обработки ответственных поверхностей.

6. Легкоповреждаемые поверхности (наружные резьбы, зубчатые поверхности с мелким модулем, наружные шлицевые поверхности и т. п.) обрабатывают на завершающих операциях ТП.

7. Операции, связанные с термическими и силовыми деформациями, должны выполняться до этапов чистовой и отделочной обработки.

8. Операции химико-термической обработки разделяют технологический процесс на самостоятельные части, каждая из которых может содержать операции чернового и получистового этапов.

9. Первыми после термической обработки выполняют операции обработки (восстановления) технологических баз.

10. Некоторые операции химико-термической обработки (цианирование, азотирование, цементация) требуют включения в ТП операций по обеспечению защиты поверхностей, для которых такая обработка не предусмотрена, например, гальванического меднения.

11. После операций, связанных со значительными деформациями заготовки или обеспечением высоких значений показателей качества, следует предусматривать контрольные операции.

12. Предварительное содержание операций определяют, объединяя переходы, которые могут быть выполнены на выбранном (заданном) оборудовании.

13. Возможно объединение в одну операцию переходов, соответствующих этапам:

- черновому и получистовому;
- получистовому и чистовому.

Допускают обоснованные отступления от изложенных принципов и правил. Например, при реализации принципа концентрации в одну операцию могут включать переходы, относящиеся к черновому, получистовому, чистовому этапам, однако указанные переходы должны выполняться последовательно и не могут выполняться одновременно.

Кроме общих правил действуют частные правила объединения переходов в операции, ориентированные на применение оборудования соответствующих групп и типов, определяющих наименование формируемой технологической операции. Далее приведен ряд правил для некоторых видов технологического оборудования.

1. Токарно-винторезная операция:
 - допускается объединять переходы обработки: черновой и получистовой; получистовой и чистой; цилиндрических и торцевых поверхностей;
 - при методе автоматического получения размеров объединяют переходы, выполняемые не более чем четырьмя резцами, число осевых инструментов не ограничивается;
 - переходы выполняют только последовательно.
 2. Токарно-револьверная и автоматная операции:
 - допускается объединять переходы обработки: наружных (внутренних) цилиндрических поверхностей, диаметры которых возрастают в направлении шпинделя (от шпинделя); выполняемые как с радиальной, так и с осевой подачей;
 - в позицию объединяют переходы с близкими требованиями к качеству;
 - совмещение переходов во времени допускается только с применением штатного вспомогательного инструмента.
 3. Токарно-гидрокопировальная операция:
 - допускается объединять переходы обработки: выполняемые с радиальной и осевой подачей; поверхностей, расположенных в одном направлении от максимального диаметра заготовки.
 4. Токарная операция с ЧПУ:
 - допускается объединять переходы обработки поверхностей, расположенных в одном направлении относительно максимального диаметра заготовки;
 - объединяют все виды токарной обработки;
 - переходы выполняют последовательно.
 5. Вертикально- и радиально-сверлильная операции:
 - объединяют все переходы обработки отверстий осевым инструментом;
 - переходы выполняют последовательно.
 6. Вертикально-фрезерная операция:
 - допускается включать переходы сверлильной обработки;
 - переходы выполняют последовательно.
 7. Круглошлифовальная операция:
 - допускается объединять обработку смежных поверхностей вращения и торцов;
 - переходы совмещают только в среднесерийном и массовом производстве;
 - основная схема установки — по центровым отверстиям.
- При объединении переходов в операции учитывают необходимость обеспечения допусков взаимного расположения поверхностей, этому способствуют:

обработка поверхностей, связанных допуском взаимного расположения, в особенности окончательная в одной операции, за один установ или даже один инструментальный переход (одновременная обработка параллельных плоскостей на продольно-фрезерном станке, параллельных отверстий на многошпиндельном агрегатном оборудовании; растачивание отверстия и подрезание перпендикулярного его оси торца; обработка соосных цилиндрических поверхностей одним резцом на гидрокопировальном полуавтомате или на токарном станке с ЧПУ по одной программе и т. д.);

базирование при окончательной обработке поверхностей, связанных допуском взаимного расположения, оно должно осуществляться по поверхности, относительно которой задан указанный допуск;

конкретный анализ условий обеспечения допуска взаимного расположения каждого вида.

Область применения систем синтеза ТП — многономенклатурное производство практически любого типа. Эффективному использованию систем способствует предметная специализация: желательно использование системы для проектирования ТП изготовления деталей ограниченного числа (близких) классов или групп. Создание автоматизированной системы синтеза ТП, инвариантной предмету производства (классу детали), является делом будущего. Такие системы можно будет применять не только при ТПП (отработка конструкций на технологичность, проектирование ТП), но и при непосредственном производстве. В последнем случае их используют для решения, например, задач ситуационного управления — оперативного поиска наиболее эффективного или даже оптимального продолжения ТП при нарушении его штатной реализации вследствие изменения производственной ситуации.

2.6. Структура САПР ТП сборки

Полноценная САПР ТП сборки должна обеспечивать:

- выбор метода достижения заданной точности сборки;
- декомпозицию изделия (сборочной единицы) в соответствии с их технологической структурой;
- выбор базовых деталей для узловой и общей сборки;
- выделение в конструкции размерных цепей, их расчет по методикам, задаваемым пользователем, интерпретирование результатов расчета;
- формирование собственно ТП сборки, его маршрутно-операционного или операционного изложения, техническое нормирование;
- выбор и оптимизацию вариантов ТП сборки в соответствии с заданными критериями (целевыми функциями);

- оформление технологической документации на спроектированный ТП.

Проектирование выполняют с учетом объема выпуска изделий и принятого метода работы (поточного, непоточного), массово-габаритных характеристик предмета производства и применяемых средств технологического оснащения. При поточной сборке должна быть приведена синхронизация операций по такту выпуска, определены действительное число операций и коэффициенты загрузки рабочих мест.

Важнейшей составляющей входной информации САПР ТП сборки (рис. 2.17) является модель предмета производства (изделия, сборочной единицы). Модель должна быть технологически опознаваема системой: для каждого ее элемента при необходимости должны определяться данные о точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, граничащие (взаимодействующие) детали, характер взаимодействия, сведения о сопряжениях деталей (посадки), значения зазоров (натягов) в сопряжении и т. д.

При автоматизированном проектировании ТП сборки вначале определяют ее принципиальную схему (последовательность), а затем, на основе выбранной схемы, разрабатывают маршрутно-операционную технологию сборки.

Любая принципиальная схема сборки возможна, если на ее основе можно реализовать хотя бы один ТП, обеспечивающий требуемое качество изделия.

Основными факторами, влияющими на последовательность сборки, являются условия базирования и доступа к месту установки элемента. Условие базирования при установке элемента a_i выполняется, если среди установленных ранее элементов есть такие, которые образуют хотя бы один состав сборочной базы. Условие доступа к месту установки элемента a_i выполняется, если среди установленных ранее нет элементов, препятствующих установке элемента a_i .

Установка всех элементов изделия $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ в некоторой T_k, T_n, T_m последовательности возможна, если соблюдены одновременно условия базирования и доступа к месту сборки.

Для узла гитары токарно-винторезного станка (рис. 2.18) последовательности установки $T'_k = a_8, a_7, a_9, a_4, a_5, a_6$ или $T''_k = a_8, a_9, a_6, a_5, a_4, a_7$ для деталей a_4, \dots, a_9 возможны по условию базирования, но не возможны по условию доступа к месту сборки и поэтому не могут быть рекомендованы.

В свою очередь, последовательности $T'_n = a_8, a_4, a_9, a_5, a_6, a_7$ или $T''_n = a_8, a_4, a_5, a_6, a_9, a_7$ возможны по условию доступа, но не удовлетворяют условиям базирования, а следовательно, также могут быть реализованы. Единственным вариантом установки, одновременно удовлетворяющим обоим условиям, является последователь-

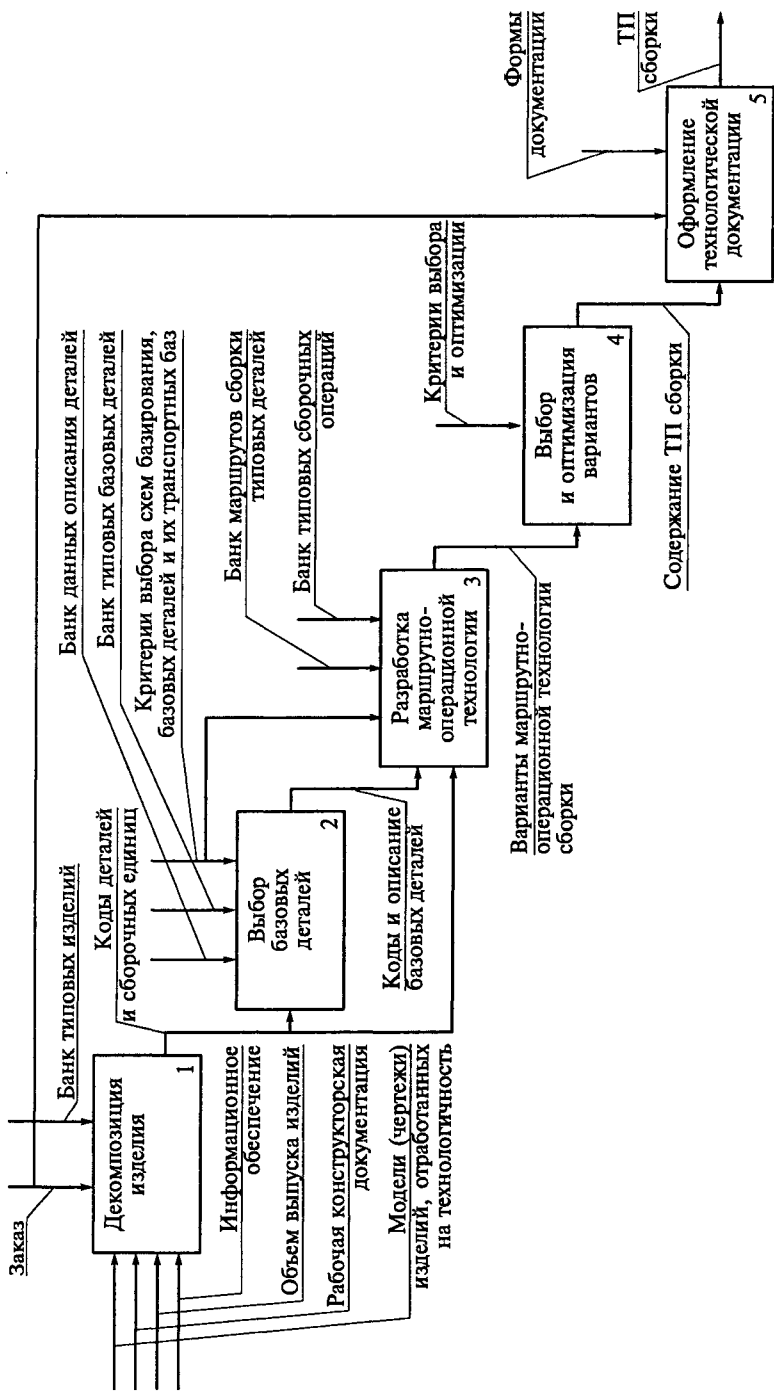


Рис. 2.17. Концептуальная модель САПР ТП сборки

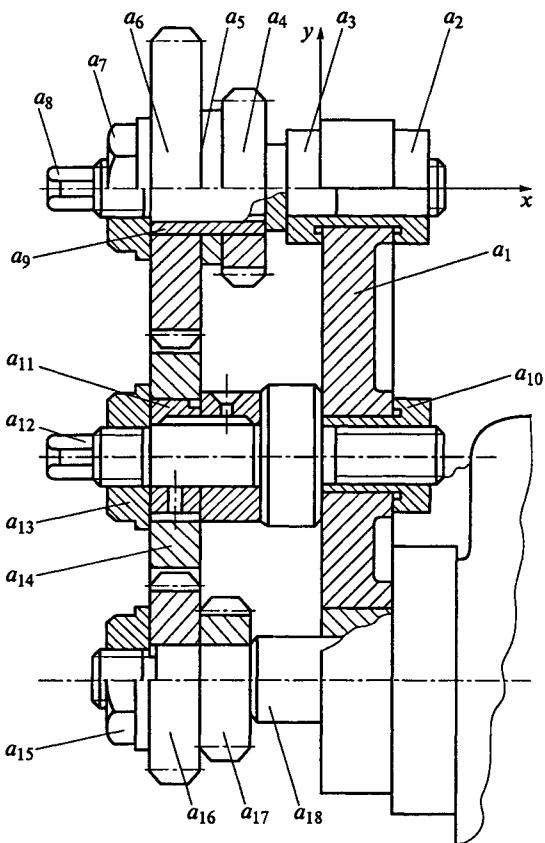


Рис. 2.18. Узел гитары токарно-винторезного станка:

$a_1 - a_{18}$ — элементы изделия

ность $T_m = a_8, a_9, a_4, a_5, a_6, a_7$, так как здесь условия базирования и доступа к месту сборки выполняются для всех деталей [2].

Формализация этапов разработки принципиальных схем и маршруты сборочных процессов базируются на топологических моделях технологических схем сборки, методах анализа пространственной взаимосвязи элементов изделий и моделирования технологических маршрутов их сборки. Варианты последовательности присоединения элементов изделия могут быть сгенерированы в автоматизированном режиме.

Состав сборочных операций определяется видом соединения и отличается большим разнообразием. Для моделирования операций используют табличные и сетевые модели.

В сборочной операции основным переходом, определяющим качество сборки, является выполнение соединения. Для каждого

вида соединения необходима разработка конкретного алгоритма проектирования.

Уровень современной автоматизации проектирования ТП сборки низок, проектирование остается исключительной прерогативой человека.

Автоматизация построения технологической схемы сборки в диалоговом режиме в принципе не представляет значительной сложности. Однако субъективный характер такой схемы может привести к негативным последствиям при разработке ТП на его основе.

Более предпочтительно использование преимуществ современного компьютерного геометрического (объемного) моделирования. После создания модели сборочной единицы возможно генерирование различных вариантов ее декомпозиции. Каждый из вариантов, за исключением явно абсурдных, может стать основой для разработки схемы, а в последующем и ТП сборки. Процедура разработки схемы может быть заменена технологическим контролем возможной собираемости узла в рассматриваемой последовательности. Такой контроль может быть осуществлен, например, в диалоговом режиме с помощью соответствующей базы знаний.

В целом же разработка эффективных САПР ТП сборки является делом будущего.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные принципы проектирования ТП. Дайте краткую характеристику каждого из них.

2. Из каких основных этапов состоит ТП изготовления детали? Дайте краткую характеристику каждого этапа.

3. Каковы основные особенности проектных технологических решений?

4. Укажите основные действия проектировщика при неавтоматизированной разработке ТП изготовления деталей, сборки. Чем они отличаются? Существуют ли различия в представлении результатов проектирования?

5. По каким основным признакам характеризуют САПР ТП?

6. В каких основных режимах эксплуатируют САПР ТП?

7. Каковы общесистемные принципы построения САПР ТП?

8. Что включает в себя программно-методический комплекс САПР ТП?

9. Каковы базовые методологии построения САПР ТП изделий машиностроения?

10. Что такое технологический классификатор деталей машиностроения? По каким основным признакам классифицируют детали машиностроения?

11. Что такое обобщенный маршрут? Чем обобщенный маршрут отличается от типового ТП?

12. Назовите область применения САПР ТП на базе использования процессов-аналогов.

13. Каковы основные входные данные САПР синтеза единичных ТП?

14. Что такое макет маршрутного ТП? Что такое макет операции?

15. Перечислите основные функции САПР ТП сборки.

3.1. Основные виды информации в САПР ТП

Информацией называют сведения о фактах, концепциях, объектах, событиях и идеях, которые в конкретном контексте имеют вполне определенное значение (ГОСТ 15971—90 «Системы обработки информации. Термины и определения»).

Основу информационного обеспечения САПР ТП составляет информация, используемая системой непосредственно для выработки проектных решений. Это информация об аналогах проектируемых процессов, о технологических свойствах материалов деталей, технологическом оборудовании, инструменте, которые могут быть применены в объекте проектирования. Сюда же относятся правила и нормы проектирования, а также правила и формы документирования его результатов.

Информацию, представленную в виде, пригодном для обработки автоматизированной системой при возможном участии человека, называют **данными**.

Для разработки единичных ТП изготовления деталей и сборки используют руководящую и справочную информацию. Руководящая информация включает в себя данные, изложенные в отраслевых стандартах, стандартах на оборудование и оснастку, в документации на действующие единичные, типовые и групповые процессы, классификаторах технико-экономической информации, технологических нормативах (режимов обработки, припусков, норм расхода материалов и др.), производственных инструкциях и документации по технике безопасности и промышленной санитарии, устанавливающих требования к ТП и методам управления ими.

Справочная информация содержит данные, представленные в технологической документации опытного производства, описаниях прогрессивных методов изготовления и ремонта, каталогах, паспортах, справочниках, альбомах компоновок прогрессивных средств технологического оснащения, схемах планировки производственных участков.

Основной задачей информационного обеспечения САПР ТП является полное, достоверное, надежное и своевременное поступление всей необходимой для проектирования информации при

минимальном времени ожидания и наименьших затратах на создание и эксплуатацию системы.

Совокупность упорядоченной информации, используемой при эксплуатации САПР ТП, образует ее информационную базу. Внемашиной информационной базой называют ее часть, представленную совокупностью документов, предназначенных для непосредственного восприятия человеком без применения средств вычислительной техники (ГОСТ 34.003—90 «Автоматизированные системы. Термины и определения»). Обычно это нормативно-справочная информация (например, специализированные технологические справочники). Иногда внемашиную информационную базу создают с целью экономии технических ресурсов системы и повышения надежности ее эксплуатации.

Часть информационной базы системы, представляющую собой совокупность используемой в ней информации на носителях, называют машинной информационной базой. Она включает информацию, постоянно используемую при проектировании ТП и обеспечении штатной работы системы.

Входной называют информацию, поступающую в САПР ТП в виде документов, сообщений, данных, сигналов, необходимую для выполнения ее системной функции. Входная информация может вводиться в систему непосредственно пользователем через процессор ввода-вывода (см. рис. 2.3) или поступать в САПР ТП из других систем, например, САПР К (CAD), интегрированных с ней по каналам связи (импортироваться). Характер и формы представления входной информации определяются принципами построения и структурой САПР ТП.

Выходной информацией САПР ТП называют информацию, получаемую в результате выполнения функций системой и выдаваемую пользователю или в другие системы. Выдаваемая пользователю САПР ТП выходная информация об объекте проектирования чаще всего представлена в форме технологической документации (см. гл. 1). Выходная информация САПР ТП, передаваемая в другие системы, может быть представлена в иных формах, наиболее соответствующих взаимодействию рассматриваемых систем.

Оперативной называют информацию, отражающую в фиксированный момент времени состояние объекта проектирования, на который направлена деятельность САПР ТП.

Выполнение любой автоматизированной системой своих функций осуществляется поэтапно. Это особенно наглядно видно при работе САПР ТП в интерактивном (диалоговом) режиме. После выполнения определенного этапа система выдает пользователю сообщение о его завершении и (или) информирует о результатах выполнения, которые характеризуют текущее состояние объекта проектирования. Например, в автоматизированных системах синтеза маршрутных ТП после выполнения этапа генерации ЭМОК

пользователю сообщают: идентификатор Т-комплекса, количество сформированных ЭМОК, состав каждого ЭМОК по переходам с указанием используемого технологического метода, группы оборудования, список возможных СУ.

Для выдачи оперативной информации при разработке систем предусматривают процедуры промежуточного вывода. После анализа полученной информации пользователем он вправе дать команду на продолжение работы системы или ее отмену. Последний случай возникает, если пользователь неудовлетворен результатами выполненного этапа проектирования, например, если они противоречат общетехнологическим принципам и правилам. Чаще всего это происходит при отладке САПР ТП, а в отлаженных системах — вследствие некорректного (или ошибочного) ввода входной информации. Для снижения вероятности возникновения подобных ситуаций в процессорах ввода-вывода САПР ТП предусматривают модули формального контроля корректности входной информации.

Если САПР ТП используют в непосредственном производстве, например, для ситуационного управления ТП, то оперативная информация содержит сведения о текущем состоянии предмета производства. В результате анализа этой информации система вырабатывает рекомендации о наиболее целесообразном (в данной производственной ситуации) продолжении ТП. Идентификацию, выделение и накопление информации, подлежащей централизованной обработке системой, обеспечивают специализированные подсистемы сбора и передачи данных.

Информацию содержат не всякие данные, а лишь те, которые уменьшают неопределенность в отношении исхода событий, интересующих пользователя системы, в частности, — процесса проектирования ТП. Информативность данных, понимаемая в смысле количества содержащейся в них информации, является важнейшим свойством, определяющим их ценность. Данные воспринимаются системой как информация лишь в том случае, если в нее введены модели, соответствующие поступающим данным. Каждое данное представляется в системе переменной соответствующего типа. В моделях, использующихся в САПР ТП, применяют переменные действительного, целочисленного, логического и символьного типов.

Действительные переменные представляют числами, имеющими целую и дробную часть (значащие цифры после запятой). Действительными переменными представляют значительную часть использующихся в САПР ТП данных. Например, массу детали, любые размерные характеристики, отклонения размеров, формы, взаимного расположения и т. д. Число значащих цифр до и после запятой для значений соответствующей переменной устанавливает разработчик системы исходя из ожидаемого диапазона возможных изменений переменной и требуемой точности расчетов.

Значения целочисленных переменных не имеют дробной части. Этими переменными представляют, например, данные о программе (объеме) выпуска, объемах операционных партий, числе рабочих мест и т. д.

Логические переменные имеют два возможных значения — ИСТИНА и ЛОЖЬ, или 1 и 0.

Символьные переменные представляют символьными (знаковыми) конструкциями — цепочками знаков. Например, СТАНОК, РАЗМЕР, ПАТРОН и т. д. Переменные этого типа используют для представления нечисловой информации. К символьным переменным могут предъявлять требования, определяемые синтаксисом используемого языка системы. Например, обозначение (и значение) символьной переменной не может начинаться с цифры, при использовании символьных переменных, значения которых могут состоять из нескольких слов (цепочек символов), между словами обязательно указание символа «пробел» и т. д.

Информационной называют структуру САПР ТП, элементами которой являются формы существования и представления информации, а связями — каналы ее передачи и преобразования.

При анализе работы САПР ТП и их создании применяют информационные модели системы. Информационная модель отражает информационные взаимосвязи элементов САПР ТП, возникающие при выполнении ее функций. Информационные модели представляют с помощью языков спецификаций информационных моделей. Наиболее часто используют язык моделей данных «сущность — связь». На основании информационных моделей определяют требования к информационной базе САПР ТП (по объему хранимой информации, форме ее ввода-вывода и способам ее обработки).

Часто при анализе и разработке САПР ТП их изображают в виде подсистем (элементов), обменивающихся соответствующими информационными объектами. В качестве информационных объектов могут выступать фрагменты баз данных, переменные, списки, файлы и т. д. Информационный объект всегда имеет конкретное (физическое) содержание, часто не вполне совпадающее с его наименованием. Так, например, объект «Данные заявки на заказ заготовки» подразумевает указание конкретных значений переменных «номер заказа», «код заказчика», «номер детали», «наименование детали» и т. д.

Построение САПР ТП и их информационное обеспечение все чаще базируется на использовании технологических знаний о предметной области систем. Основными компонентами технологических знаний являются факты (данные), гипотезы (модели), эвристики (правила).

Факт представляет собой некоторое высказывание или данные, достоверность которых не вызывает сомнений. Например, в про-

цессе обработки резанием возникают силы резания. Конкретное данное, например, число, занесенное в таблицу, также считают фактом. Факты могут использоваться вместе (ассоциативно), например, строка данных в таблице.

Гипотеза (модель) — недостаточно проверенное высказывание, истинность которого пока не установлена, их выдвигают при отсутствии достоверного объяснения процесса или явления. Гипотезы либо доказывают, и тогда они становятся фактами, либо отвергают. Любую, например, математическую модель объекта, следует рассматривать как гипотезу, требующую подтверждения. Моделирование технологических объектов рассмотрено в гл. 4.

Эвристика — частный, неполный метод (эмпирическое правило) решения какой-либо задачи (см. подразд. 2.5).

При разработке современных САПР ТП часто используют методологию инженерии знаний. Инженерия знаний ориентирована на создание компьютерных систем, целью которых является извлечение знаний, которыми располагают специалисты; наиболее эффективное их использование при автоматизированном формировании, прежде всего, проектных решений.

Эффективность использования технологических знаний прямо зависит от эффективности выбранной модели представления. Различают процедурные и декларативные модели знаний. В процедурных моделях знания представляют в виде структур данных. С элементами структур ассоциируют некоторые специализированные процедуры. Процедурные модели используют в информационно-поисковых системах, когда по некоторым признакам (характеристикам) идентифицируют объект поиска или, наоборот, для выделенного экземпляра объекта определяют значения его характеристик. К процедурным моделям относят и любые формальные методики, например, методику расчета припусков на обработку. Формальная методика всегда может быть реализована алгоритмически. Алгоритм — строго установленная последовательность формальных процедур. В предметной области технологии машиностроения число известных и применяющихся формальных методов незначительно.

Декларативные модели также базируются на использовании структурированных данных, однако интерпретирование этих структур и выполнение операций над ними требует применения вычислительной техники и соответствующих программных средств. К декларативным моделям знаний относят логические и производственные модели, а также аппарат семантических сетей.

В логических моделях систему знаний о предметной области, необходимую для решения прикладных задач, рассматривают как совокупность фактов (утверждений). Факты представляют формулами некоторой логики. Логические модели базируются на логике высказываний и исчислении предикатов. При использовании ло-

гики высказываний последние рассматривают как единое целое, не обладающее внутренней структурой. Истинность или ложность высказываний всегда фиксирована. В основе получения вывода при использовании логики высказываний чаще всего лежит силлогизм:

- 1) $A \rightarrow B$ (из A следует B);
 $B \rightarrow C$ (из B следует C);
 $A \rightarrow C$ (вывод: из A следует C).
- 2) В ПЕРВОЙ ОПЕРАЦИИ ОБРАБАТЫВАЮТ БАЗЫ;
БАЗЫ — ЦЕНТРОВЫЕ ОТВЕРСТИЯ;

В ПЕРВОЙ ОПЕРАЦИИ ОБРАБАТЫВАЮТ ЦЕНТРОВЫЕ ОТВЕРСТИЯ.

Модели знаний, основанные на логике высказываний, не нашли применения при разработке САПР ТП. Это связано прежде всего с громоздкостью, слабой структурированностью и практическим отсутствием формализации представляемых высказываний.

Предикатом называют переменное высказывание следующей структуры:

$$P(p_1, p_2, \dots, p_n),$$

где P — предикатное слово, характеризующее определяемое понятие или функциональный класс объекта; p_1, p_2, \dots, p_n — предикатные переменные, принимающие любые значения из области их определения.

Если предикатные переменные принимают значения, сочетание которых соответствует значениям реально существующего объекта, то предикат принимает значение ИСТИНА, в противном случае — ЛОЖЬ. Получение выводов на основе исчисления предикатов базируется на использовании принципа резолюции. Последовательность действий при формировании вывода достаточно сложна, ненаглядна, требует использования вычислительной техники. Вместе с тем исчисление предикатов находит ограниченное применение при создании САПР ТП. В частности, оно использовано при создании автоматизированной системы синтеза маршрутных ТП для выбора СУ заготовок (см. подразд. 2.5).

Предметная область САПР ТП является частью технологической предметной области и должна определяться с помощью минимально необходимого числа технологических понятий. Выявить эти понятия можно путем графического представления связей между ними. Такое представление, кроме выявления необходимых понятий, устанавливает в абстрактном виде смысловую связь между ними и поэтому называется семантической сетью. На рис. 3.1 приведен пример фрагмента семантической сети. Направление стрелок совпадает с направлением определения понятия. Для сети, показанной на рис. 3.1, справедлива следующая связь понятий: ус-

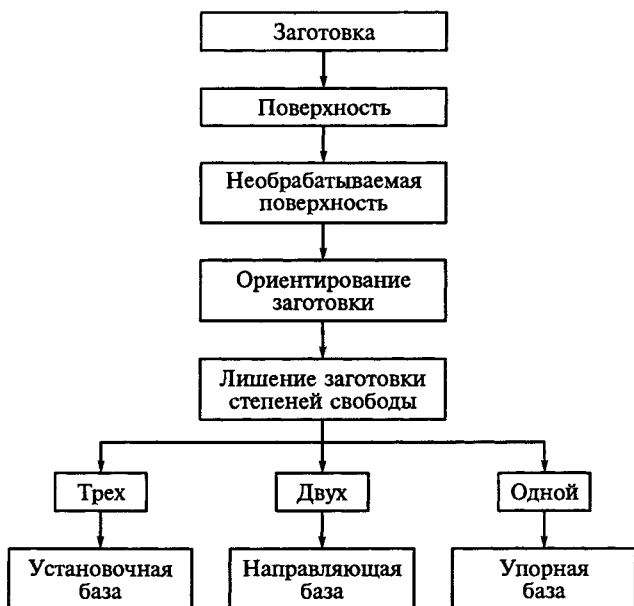


Рис. 3.1. Фрагмент семантической сети определения понятия «база»

тановочная база является необрабатываемой в данной операции поверхностью заготовки, обеспечивающей необходимую ориентацию заготовки и лишаящей заготовку трех степеней свободы. Подобным образом могут быть интерпретированы любые фрагменты семантических сетей. Аппарат семантических сетей полезен при структурировании предметной области САПР ТП, установлении подчас скрытых связей между объектами предметной области, но обладает ограниченными возможностями для использования при формировании выводов.

Продукционное правило — способ представления знаний в виде причинно-следственных связей. Основная форма продукционного правила:

ЕСЛИ ($\wedge \vee$ {(УСЛОВИЕ)}) ТО ($\wedge \vee$ {(ДЕЙСТВИЕ)}),

где \wedge , \vee — символы логических И, ИЛИ (логических операций конъюнкции и дизъюнкции); фигурные скобки — символ множества.

УСЛОВИЕ и ДЕЙСТВИЕ состоят из фактов. Факт представляют в форме ОБЪЕКТ = ЗНАЧЕНИЕ. Например, КЛАСС ДЕТАЛИ = ВАЛ. Если УСЛОВИЕ или ДЕЙСТВИЕ содержат более одного факта, то между ними ставят связку — логическое И (конъюнкция). Пример продукционного правила:

ЕСЛИ (ДЕТАЛЬ = ВАЛ)
И (НАЛИЧИЕ ЦЕНТРОВЫХ ОТВЕРСТИЙ = ДА)
И (ПРОИЗВОДСТВО = СЕРИЙНОЕ)
И (НАЛИЧИЕ ФРЕЗЕРНО-ЦЕНТРОВАЛЬНОГО СТАН-
КА = ДА)
ТО (НОМЕР ОПЕРАЦИИ = 005)
(СОДЕРЖАНИЕ = ФРЕЗЕРОВАНИЕ ТОРЦЕВ И ЗАЦЕН-
ТРОВКА)
(УСТАНОВОЧНАЯ БАЗА = НАРУЖНЯЯ ЦИЛИНДРИЧЕ-
СКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ).

Продукционные правила связывают понятия (объекты) предметной области с учетом разрешенных значений, которые они могут принимать.

Правила разделяют на частные, определяющие конкретные действия для фиксированных условий (пример такого правила приведен выше) и метаправила — правила управления правилами. Метаправила фиксируют границы предметной области. Их разрабатывают на основе наиболее общих технологических эвристик (см. подразд. 2.5).

Продукционные правила применяют при разработке экспертных подсистем САПР ТП.

Модели представления и использования знаний в конструкторско-технологическом проектировании непрерывно совершенствуются. В частности, в одном из современных подходов к использованию знаний в САПР предложено представлять объект проектирования такими сущностями, как:

переменная, представляющая собой именованное понятие предметной области. Она может быть использована в расчетах, таблицах и чертежах. Возможна поддержка различных типов переменных, в том числе и нетрадиционных, таких как матрица и комплексное число;

таблица, хранящая табличные отношения, характерные для конкретной предметной области (взятые из стандартов, нормативных документов, справочников или из результатов предшествующего опыта проектирования). В качестве ячеек таблиц могут выступать формулы (аналогично Microsoft Excel);

отношение — правило получения значения переменной (переменных). Поддерживаются следующие основные виды отношений:

- аналитические — в виде формул, возможно использование не только стандартных арифметических и тригонометрических функций, но и библиотеки функций, которая содержит математические, матричные, комплексные и инженерные функции (например, округление до стандартных рядов и др.);
- продукционные — в виде набора правил типа ЕСЛИ—ТО, преимущество которых является ведение расчета без

строгого алгоритма на основе входных значений («что дано») и списка переменных, которые необходимо рассчитать («что найти»);

- запросы — предназначены для поиска необходимых данных в таблицах;
- процедура — проектное действие (выбор из таблицы, ввод параметров, запуск расчета, работа с чертежами и т. п.), из которых состоит методика проектирования.

Создание модели представления и использования знаний наиболее эффективной для применения в интегрированных САПР является делом будущего.

3.2. Информационные базы САПР ТП

База данных — совокупность данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными. База данных включает упорядоченные данные, необходимые для решения комплекса задач САПР ТП, а также вспомогательные данные, используемые для управления внутри базы. Различают фактографические и документальные базы данных. Фактографическая база данных — совокупность данных, предназначенных для совместного использования, например, каталог параметров режущего инструмента, таблицы режимов резания и норм вспомогательного времени и т. д.

Документальная база данных — совокупность текстовых документов, содержащих известные проектные решения или их фрагменты (например, библиотека ТП-аналогов), а также другую текстовую информацию, необходимую для формирования проектных решений.

На логическом уровне, в представлении пользователя, фрагмент базы данных можно изобразить в простейшем случае как прямоугольную таблицу (рис. 3.2). Под сущностью понимают множество однотипных объектов (предметов) реального мира. Например, множества спиральных сверл, токарно-винторезных станков, режимов резания при заданном методе обработки и т. д. Сущность характеризуется свойствами (атрибутами). Для спиральных сверл, например, атрибутами являются диаметр, длина режущей части, угол подъема винтовой канавки, номер конуса Морзе, углы заточки и т. д.

Конкретному экземпляру сущности (первый столбец) соответствует определенный набор (кортеж) значений атрибутов. Атрибуты могут быть представлены переменными различных типов. Пересечение строки и столбца, в котором размещают значение конкретного атрибута конкретного объекта, называют полем. При создании базы данных для размещения значения каждого атрибу-

Атрибуты (характеристики) сущности

Наименование сущности Б	А ₁	А ₂	...	А _n
Б ₁			...	
Б ₂			...	
...
Б _m			...	

Экземпляры сущности
Запись
Поле

Рис. 3.2. Фрагмент базы данных на логическом уровне (в представлении пользователя)

та отводят поле, соответствующее типу и ожидаемому предельному значению используемой переменной размера (формата). Строку, включающую наименование экземпляра сущности и кортеж значений его атрибутов, называют записью в базе данных. Фактографическая база данных — совокупность записей об экземплярах сущностей, характеризуемых заданными атрибутами.

Задав конкретную сущность, в базе данных можно определить полный набор соответствующих ей значений атрибутов. Задав конкретные значения атрибутов, можно определить (идентифицировать) конкретный экземпляр сущности. Атрибуты, однозначно идентифицирующие экземпляр сущности, называют возможными ключами. Для спиральных сверл, например, это стандарт, диаметр, длина режущей части.

Базы данных содержат множество сведений, хранящихся в системе и удовлетворяющих фиксированной совокупности форматов. Данные из баз предназначены для совместного (ассоциативного) использования. Список необходимых баз данных формируют по мере разработки системы и окончательно составляют по ее завершении.

Состав баз данных определяют с учетом характеристик объектов проектирования, характеристик процесса проектирования (стандартных проектных операций и процедур, типовых проектных решений, описаний технологических операций с вариантами их реализаций, характеристик рабочих мест, средств технологического оснащения и т. д.), действующей нормативно-справочной информации.

При построении баз данных соблюдают принцип информационного единства: используют термины, символы, условные обозначения, проблемно-ориентированные языки и другие способы представления информации, принятые в САПР ТП.

Единицы физических величин, хранящихся в базах данных, должны соответствовать требованиям стандартов.

В качестве основных логических структур баз данных используют иерархическую, сетевую, реляционную и смешанную (различные сочетания перечисленных ранее) структуры.

Содержание, структура и организация использования баз данных должны обеспечивать объединение любого числа баз данных любого объема, допускающее совместное использование общих данных различными подсистемами САПР ТП для разных задач; возможность наращивания баз данных; минимальное время их обработки; минимальную избыточность данных; их достоверность, непротиворечивость и актуальность; минимальный объем памяти компьютера для хранения данных; защиту и регулирование возможности доступа к базам данных; их многократное использование.

Физической называют базу данных в том виде, как она хранится в запоминающем устройстве компьютера.

По уровню доступности и коллективности использования различают личные, коллективного и общего пользования базы данных. Личные базы данных обслуживают одного пользователя и содержат его личную информацию. Такие базы применяют, например, в АРМ, в особенности при их специализации.

База данных коллективного пользования обеспечивает одновременную работу с ней нескольких прикладных программ или пользователей.

База данных общего пользования доступна всем пользователям САПР ТП.

Система управления базой данных (СУБД) — совокупность программ и языковых средств, предназначенных для управления данными в базе, ведения базы данных и обеспечения ее взаимодействия с прикладными программами (ГОСТ 20886—85 «Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения»). СУБД регулирует механизм доступа к данным, сохраняет данные от уничтожения, создает новые или аннулирует ненужные связи, регулирует временные параметры процессов выборки в зависимости от заявок и их приоритетов, машинных ресурсов и т. д.

Структуру СУБД строят (или выбирают) с учетом реализации концептуального, внутреннего и внешнего уровней представления данных. Концептуальный уровень обеспечивает интегрированное представление о характере, содержании и структуре данных предметной области. Внутренний уровень отображает организацию данных в среде хранения. Внешний уровень обеспечивает представление данных в соответствии с требованиями пользователей.

Лингвистические (языковые) средства СУБД служат для определения данных и доступа к ним на соответствующем уровне. Языковые средства СУБД, их свойства (синтаксические и семантические), способы реализации, круг лиц, на которые они ориентирова-

ны, могут изменяться у различных СУБД в широком диапазоне — от использования языков программирования до применения языков, ориентированных на конкретного пользователя.

К основным функциям СУБД относятся создание схемы базы данных; организация хранения данных; защита баз данных; управление доступом к базе данных; предоставление пользователям доступа к базам данных; поддержание загрузки баз данных и процессов их функционирования; реструктуризация базы данных.

Ядром СУБД является процессор описания и поддержания структуры базы данных (рис. 3.3). Он реализует принятую модель организации данных (иерархическую, сетевую, реляционную) и другие важнейшие функции системы. Сам процессор реализуется на основе языка базы данных, являющегося составной частью языка структурированных запросов SQL (Structured Query Language).

Интерфейс ввода данных СУБД реализует входной информационный язык банка данных, обеспечивая абонентам — поставщикам информации средства описания и ввода данных в информационную систему. Одной из современных тенденций развития СУБД является стремление приблизить входные информационные языки и интерфейс ввода к естественному языку общения с пользователем в целях упрощения эксплуатации информационных систем так называемыми «неподготовленными» пользователями. Данную проблему решают применением диалоговых методов организации

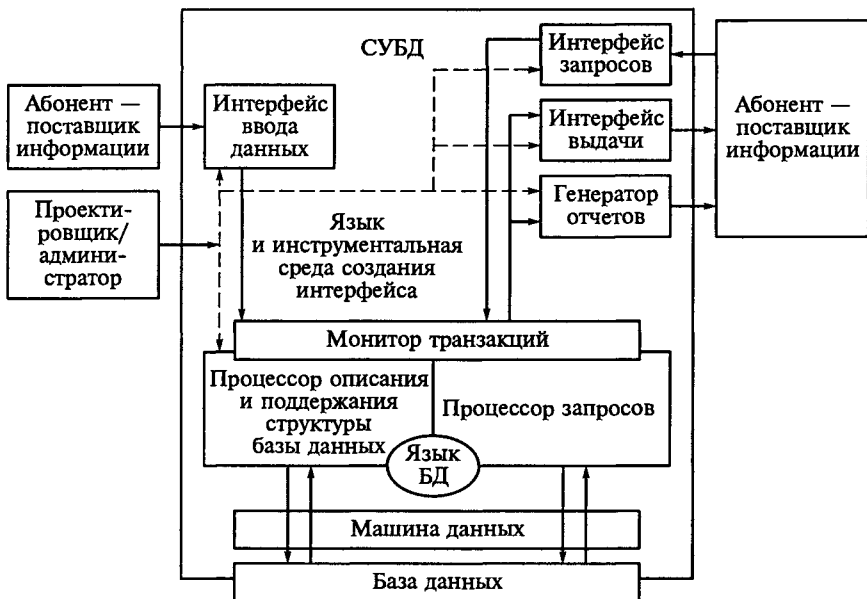


Рис. 3.3. Структура СУБД

интерфейса и использованием входных форм. Входные формы по сути представляют собой электронные аналоги различного рода анкет, стандартизованных бланков и таблиц, широко используемых в делопроизводстве и интуитивно понятных неподготовленным пользователям. Интерфейс ввода при этом обеспечивает средства создания, хранения входных форм и их интерпретацию в терминах описания логической структуры базы данных для передачи вводимых через формы сведений процессору описания и поддержания структуры базы данных.

Интерфейс запросов совместно с процессором запросов обеспечивает пользователя — потребителя информации средствами выражения его информационных потребностей.

Процессор запросов интерпретирует сформированные запросы в терминах языка манипулирования данными и совместно с процессором описания и поддержания структуры базы данных совместно и исполняет запросы.

Процессор запросов и процессор описания и поддержания структуры базы данных формируют низший уровень оперирования данными в СУБД, который называют машиной данных.

Организация доступа к данным и их обработка в оперативной и внешней памяти осуществляется через реализацию процессов, получивших название транзакций. Транзакцией называют последовательную совокупность операций, имеющую отдельное смысловое значение по отношению к текущему состоянию базы данных. Так, например, транзакция по удалению отдельной записи в базе данных последовательно включает определение страницы файла данных, содержащей указанную запись, считывание и пересылку соответствующей страницы в буфер оперативной памяти, собственно удаление записи в буфере, проверку ограничений целостности по связям и другим параметрам после удаления и, наконец, «выталкивание» и фиксацию в файле базы данных нового состояния соответствующей страницы данных.

Организацию совместного выполнения транзакций от нескольких пользователей над общими данными в СУБД обеспечивает монитор транзакций.

Интерфейс выдачи СУБД получает от процессора запросов результаты исполнения запросов (обращений к базе данных) и переводит эти результаты в форму, удобную для восприятия и выдачи пользователю — абоненту информационной системы. Собственно оформление результатов поиска и отбора информации в базе данных обеспечивает генератор отчетов.

Базы данных, в сочетании с СУБД, предназначены для удовлетворения различных информационных потребностей пользователя. Для этого СУБД обеспечивают выполнение широкого набора различных функций и операций, сущность которых определяется понятием «обработка данных».

Обработка данных подразумевает:

- поиск, фильтрацию и сортировку данных;
- запросы к базе данных;
- механизм реализации событий, правил и процедур в базе данных.

Операции поиска, фильтрации и сортировки данных обеспечивают самые простые информационные потребности пользователя. Собственно поиск данных реализуют в виде поиска записи (записей):

- по ее номеру;
- по значению (значениям) какого-либо поля;
- с помощью фильтров (фильтрация).

Поиск записи чаще всего проводят на основе механизма распределения записей по страницам файла данных. Результатом поиска данных о конкретном экземпляре некоторой сущности является установление табличного курсора на ключевое поле искомой записи — строки или «показ» (отображение) в открытой форме полей искомой записи.

Упорядочение записей по возрастанию/убыванию или по алфавиту по определенному полю называют сортировкой. Сортировка данных упорядочивает последовательность расположения строк открытой таблицы по записям какого-либо поля.

Запрос представляет собой предписание на языке базы для обработки данных. В реляционных СУБД запросы к базе выражают на языке SQL. Различают запросы:

- на выборку данных;
- на изменение данных;
- управляющие.

Запросы SQL состоят из операторов и функций, которые могут взаимодействовать как непосредственно с таблицами, так и с отдельными записями таблиц.

Взаимодействие пользователя с СУБД подробно описано в специализированной литературе, например, [12].

В автоматизированных системах поддержки ПТЦ изделий машиностроения и, в частности, в САПР ТП применяют наиболее известные СУБД, например:

- Oracle Database — полностью исключает потери данных, обладает мощными и экономичными средствами безопасности;
- Microsoft SQL Server — мощная промышленная СУБД для хранения и обработки больших объемов информации, полностью использует все возможности операционной системы Windows;
- SQL Base — профессиональная СУБД, проста в администрировании, мобильна, компактна, при относительно невысокой стоимости дает возможность создавать надежные и гибкие системы обработки данных;
- Borland InterBase — мощная, простая в использовании СУБД корпоративного уровня;

- Ingres II — интеллектуальная распределенная реляционная СУБД, ориентирована на работу в вычислительных сетях;
- MySQL — высокоскоростная («быстрая»), простая, гибкая и относительно недорогая СУБД.

Могут использоваться и другие СУБД, в том числе и оригинальной разработки.

Банки данных являются составной частью информационного обеспечения САПР ТП и состоят из ряда баз данных и соответствующих СУБД. Банки данных, обслуживающие подсистемы САПР ТП, предназначены для автоматизированного снабжения необходимыми данными проектирующих подсистем. Достаточно развитый банк может полностью реализовать все функции информационного обеспечения системы и делает информационно совместимыми проектирующие подсистемы, а также систему в целом с другими видами систем автоматизации.

Банк данных должен обладать гибкостью, надежностью, наглядностью и экономичностью. Гибкость выражается в возможности наращивания и адаптации СУБД, изменения организации и структуры баз данных при минимальных затратах времени и средств. В системах, для которых характерны процессы реорганизации данных, должна обеспечиваться логическая независимость данных: реорганизация баз данных не должна приводить к изменению прикладных программ. Для одновременного обслуживания группы пользователей должна быть обеспечена возможность параллельного доступа. В банках САПР ТП должна обеспечиваться обработка как алфавитно-цифровой (символьной), так и графической информации. Должно быть обеспечено регулирование доступа к информации банка пользователей различных уровней.

Надежность банка данных предполагает возможность восстановления информации и программных средств банка в случае их утраты или повреждения (разрушения). Предусматривают стандартную реакцию на несанкционированный доступ или ошибочный запрос, а также соответствующую защиту информации банка.

Наглядность (удобство пользования банком данных) подразумевает предоставление пользователю банка информации в привычной и удобной для восприятия форме, а также наличие средств учета и протоколирования работы банка.

Экономичность банка данных обеспечивают исключение дублирования данных, кроме случаев, когда оно оправдано по техническим или экономическим соображениям; автоматизация сбора статистических данных о содержании и использовании информации банка с целью организации далее эффективного распределения его технологических ресурсов; наличие средств тиражирования баз данных.

Банк данных строят с учетом его взаимосвязи с другими банками, входящими в состав автоматизированных систем поддержки ЖЦИ.

Управление банком данных осуществляет специальная администрация (группа специалистов). Ее основными функциями являются организация и формирование баз данных (определение структуры данных, присвоение имен переменным и защита данных); загрузка баз данных; регулирование доступа пользователей к данным; выбор способа физической организации баз данных; организация использования баз данных (распределение запросов во времени, протоколирование работ с базой данных); организация регламентных работ по поддержанию банка в рабочем состоянии; восстановление баз данных при нарушении их целостности; защита от несанкционированного доступа к базам данных; реорганизация баз данных на основе новых требований развития и усовершенствования или на основе анализа работы банка.

Современные САПР ТП и интегрированные САПР все чаще включают экспертные компоненты (подсистемы), которые могут эксплуатироваться и самостоятельно.

Экспертная система представляет собой реализованный на базе вычислительной техники программный комплекс — интеллектуальный автомат, обладающий способностью воспринимать, представлять, обрабатывать и объяснять профессиональные знания на основе формального логического вывода. Решения, формируемые с помощью этих систем, могут соответствовать уровню, достижение которого человеком требует продолжительного образования и значительного опыта. Экспертные компоненты в составе САПР ТП используют для решения следующих задач:

- выбора вида и способа изготовления исходной заготовки;
- классификации деталей;
- проектирования ТП, изготовления деталей;
- прогноза качества предмета производства и определения возможных причин его нарушения в ходе ТП или в результате выполнения отдельной операции;
- поиска нового продолжения ТП при изменении производственной ситуации.

Экспертную систему принято разделять на базу знаний и машину логического вывода (совокупность программ, обеспечивающих формирование логического вывода). Машину логического вывода (иногда называемую оболочкой) экспертной системы разрабатывают специалисты в области программирования. Задачей технологов является разработка баз знаний.

База знаний — описание предметной области с использованием ее понятий и компонентов, выполненное специалистами в предметной области (экспертами). Знания представляют в формализованном виде.

Известен ряд подходов к построению экспертных систем технологического назначения. Рассмотрим построение экспертной системы на примере использования производственных правил.

Базы знаний экспертных систем содержат описания объектов, характеризующих предметную область системы; описания вопросов, задаваемых пользователю системой в ходе консультации (система может формулировать вопросы и самостоятельно), правила формирования логических выводов.

Каждое понятие (объект) записывают с помощью соответствующего термина (последовательности символов). Понятие и термин — не синонимы. Понятие — это отражение сущности объекта, а термин — его символьное изображение.

Каждый объект имеет ограниченное множество возможных разрешенных значений. Например:

СТАНОК = {ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЙ;
ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫЙ; ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫЙ}.
КЛАСС ДЕТАЛИ = {КОЛЬЦО, ВТУЛКА, ДИСК}.

Множество разрешенных значений объектов ограничивает возможности экспертной системы. Если, например, для системы, объекты которой определены выше, указать, что КЛАСС ДЕТАЛИ = ВАЛ, система не опознает такой объект, так как символьная конструкция ВАЛ не указана во множестве разрешенных значений КЛАСС ДЕТАЛИ.

База знаний экспертной системы — совокупность продукционных правил, связывающих ее объекты. Поиск и определение технологических эвристик, раскрывающих сущность связей понятий предметной области технологии, является основной задачей технолога — разработчика базы знаний экспертной системы.

При формировании ответа на запрос пользователя в первую очередь срабатывают метаправила (правила управления правилами). Метаправила сокращают время формирования вывода (ответа на запрос пользователя), вызывая в зависимости от условий необходимый блок частных продукционных правил. Последовательность метаправил можно рассматривать как сценарий консультации с экспертной системой.

Выполнение продукционного правила представляет собой логическую операцию — импликацию: $A \rightarrow B$. Если A истинно, то B — истинно. Если A — ложь, то выражение становится неопределенным. Вывод при использовании продукционных правил, так же, как и в логике высказываний, формируется на основе силлогизма. Например:

- 1) $A =$ ИСТИНА, правила вывода и вывод имеют вид
ЕСЛИ A ТО B
ЕСЛИ B ТО C
 $C =$ ИСТИНА;

- 2) ВЫПОЛНЯЕМАЯ ОПЕРАЦИЯ = ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, правила вывода и вывод имеют вид
ЕСЛИ (ВЫПОЛНЯЕМАЯ ОПЕРАЦИЯ = ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА)
ТО (ОКИСЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ = ДА)
ЕСЛИ (ОКИСЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ = ДА)
ТО (СЛЕДУЮЩАЯ ОПЕРАЦИЯ = ВОССТАНОВЛЕНИЕ БАЗ)
СЛЕДУЮЩАЯ ОПЕРАЦИЯ = ВОССТАНОВЛЕНИЕ БАЗ.

Экспертная система в ходе консультации оперирует фактами и представляет результат консультации в виде фактов. Различают факты, вводимые пользователями в виде исходных данных при диалоге с системой (применяются только в условной части продукционных правил) и факты, выводимые системой (могут рассматриваться как в части «условие», так и в части «действие» продукционных правил).

Вывод консультации может быть альтернативным, т.е. содержать несколько фактов, относящихся к объекту консультации. В этом случае окончательное решение принимает пользователь. Для облегчения принятия окончательного решения каждый альтернативный вывод может иметь соответствующий коэффициент доверия (КД), вычисляемый системой. Например:

РЕЗУЛЬТАТ КОНСУЛЬТАЦИИ

ИСХОДНАЯ ЗАГОТОВКА = ПРОКАТ КРУГЛЫЙ ГОРЯЧЕКАТАНЫЙ, КД = 0,2

ИСХОДНАЯ ЗАГОТОВКА = ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА НА ПРЕССЕ, КД = 0,3

ИСХОДНАЯ ЗАГОТОВКА = ШТАМПОВКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЕ, КД = 0,5.

КД к выводу всегда меньше или равен единице, но сумма коэффициентов доверия альтернативных выводов не всегда равна единице, так как альтернативы могут быть определены по независимым цепям логического вывода.

Базу знаний, эксплуатируемую в системе проектирования, можно рассматривать как логико-эвристическую модель технологического объекта.

В ходе консультации последовательность правил, образующих цепь логического вывода, формируется в следующем порядке:

- среди множества правил базы знаний выбираются правила (правило), правая часть которых содержит ответ на запрос к экспертной системе;

- для этих правил определяют условия, соответствующие их левой части;

- выбирают правила, правая часть которых соответствует найденным условиям.

Процесс продолжается до тех пор, пока не будут найдены правила, значения объектов левой части которых соответствуют условиям запроса. После этого для полученных цепей правил совершается обратный ход — от условия запроса к ответу на запрос.

Чтобы цепь логического вывода не обрывалась, для любого факта, не являющегося объектом консультации и полученного из некоторого правила, должно быть найдено правило, в котором данный факт находится в условии. Место правила в базе знаний не имеет значения.

Консультация пользователя с системой завершается по получении ответа на запрос, либо, если база знаний системы не обеспечивает принятие решения, выдачей на интерфейс пользователя соответствующего сообщения.

Экспертные системы (экспертные компоненты САПР ТП) являются эффективным средством преодоления неформализуемых этапов технологического проектирования и позволяют принимать решения в условиях неопределенности.

Вместе с тем экспертные системы обладают рядом недостатков: сложность формирования баз знаний, содержащих количество правил, достаточное для принятия полноценных решений (необходимое количество — несколько десятков тысяч правил), сложность приобретения новых знаний, невозможность, если не найдено решение, точно соответствующее условиям, получения решения, «близкого» к искомому.

В САПР ТП, использующих экспертные компоненты, должно быть обеспечено взаимодействие последних с модулями системы, работающими по жестким алгоритмам. Этого достигают путем использования сопрягающих интерфейсов с выводом результатов взаимодействия указанных модулей и компонентов САПР ТП на монитор пользователя. Пользователь принимает решения о допустимости и целесообразности использования результатов консультации алгоритмических модулей системы с экспертной подсистемой. Он же разрешает возникающие коллизии, устраняет возможные сбои взаимодействия подсистем и, в целом, обеспечивает его качество.

Предметная область технологии машиностроения включает совокупность знаний, относящихся к применяемым технологическим методам механистической обработки, сборки, нанесения покрытий, электрохимической, химико-термической обработки, а также методам заготовительных производств.

Проектирование ТП требует взаимодействия знаний о различных технологических методах. Так проектное решение, связанное с синтезом структуры ТП изготовления деталей, часто требует вза-

имодействия знаний о механической обработке, сборочном производстве (операции промежуточной сборки), химико-термической обработке (выбор вида и места) и т. д.

Указанного взаимодействия можно добиться, разделив базу знаний на отдельные сегменты, в каждом из которых хранятся правила, относящиеся к конкретной группе технологических методов и обеспечивив собственно взаимодействие с помощью расширения сегмента метаправил. Содержание базы знаний при этом расширяется, а структура — усложняется, а значит, усложняется процесс формирования вывода.

Совершенствование САПР ТП, повышение эффективности и надежности формируемых проектных решений прямо зависит от расширения использования в системах технологических знаний. Одним из возможных направлений этого является создание и использование банков технологических знаний.

Банк технологических знаний — компьютерная система, обеспечивающая контроль истинности, классификацию, накопление, хранение и выдачу знаний и технологических решений по запросу пользователя.

Принципиальным отличием банка технологических знаний от существующих систем хранения и выдачи технологических данных, например, банков данных, является его способность предлагать пользователю новые, неизвестные до сих пор, технологические решения. Эти решения не хранятся в банке в готовом виде, пригодном для моментального использования, но могут быть получены в результате взаимодействия имеющихся в банке знаний. Решения формируются для конкретных условий, указанных пользователем. Банк технологических знаний может обеспечивать выдачу:

- данных о любых современных материалах, используемых в машиностроении, и методах их обработки (с необходимой коммерческой информацией), о современном оборудовании и состоянии его рынка, об оптимальных для пользователя режимах обработки конкретного материала и необходимом инструменте;

- описаний новейших ТП изготовления изделий, интересующих пользователя, классов и типоразмеров, адаптированных к конкретным условиям, с необходимой документацией и коммерческой информацией об отечественных и зарубежных предприятиях, выпускающих аналогичную продукцию;

- отдельных подсистем САПР ТП (в загрузочных модулях), встраиваемых в аналогичные системы, эксплуатирующиеся на предприятии пользователя;

- баз данных для использования в САПР ТП пользователя;

- специализированных программных продуктов (в загрузочных модулях) для выполнения необходимых технологических расчетов.

Банк технологических знаний представляет собой уровневую структуру (рис. 3.4). Каждый из четырех уровней банка аккумулиру-

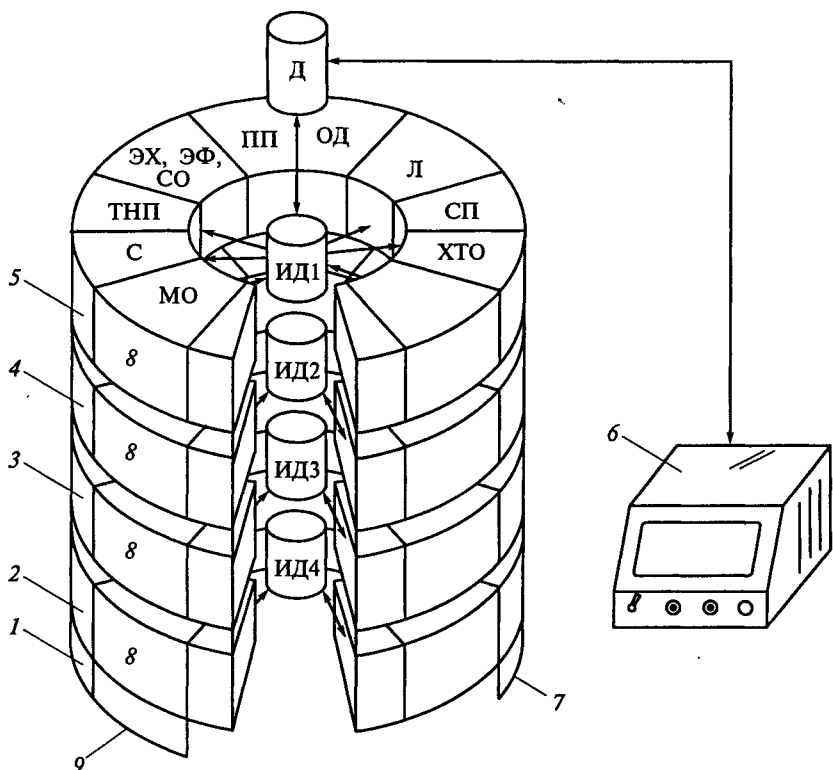


Рис. 3.4. Уровневая организация банка технологических знаний:

1 — блок сборочного производства (С); 2—5 — уровни «производственный процесс», «технологический процесс», «технологический метод», «физические явления и эффекты» соответственно; 6 — терминал ввода-вывода; 7 — блок химико-термической обработки (ХТО); 8 — сегменты блока С; 9 — блок механической обработки (МО); ТНП — технология нанесения покрытий; ЭХ, ЭФ, СО — электрохимическая, электрофизическая и специальная обработки; ПП — прокатное производство; ОД — обработка давлением; Л — литейное и металлургическое производство; СП — сварочное производство; Д — диспетчерский программный модуль; ИД1—ИД4 — интерфейсно-диспетчерские модули

ет знания, определяющие соответственно физические явления и эффекты, лежащие в основе машиностроительных технологий; технологические методы машиностроительного производства; ТП изготовления машиностроительных изделий; производственные процессы при изготовлении машиностроительных изделий.

Знания, аккумулированные в уровнях банка, объединены в блоки, соответствующие основным переделам машиностроительного производства.

Элемент банка, находящийся на пересечении уровня и блока, представляет собой автономную систему — сегмент банка, имею-

шую все основные элементы для удовлетворения информационных потребностей пользователя.

Обращение пользователя к банку технологических знаний и получение ответа на запрос осуществляют через терминал вывода-ввода, а управление банком как системой — диспетчерским программным модулем.

Взаимосвязь сегментов банка в пределах одного уровня и между уровнями выполняют интерфейсно-диспетчерские модули. Такой принцип построения обеспечивает высокую гибкость банка при формировании решений.

Знания, поступающие в банк, проходят проверку истинности, а также общей непротиворечивости технологических решений, формируемых с их помощью, это принципиально отличает банк знаний от других систем удовлетворения информационных потребностей.

Создание банка технологических знаний связано с решением ряда сложных задач, основными из которых являются:

- разработка универсального понятийного аппарата для описания предметной области технологии машиностроения;
- совершенствование модулей представления знаний, создание эффективных методов и средств формирования баз знаний;
- разработка программного и информационного обеспечения банка технологических знаний.

Несмотря на наличие сложных, до конца не решенных задач, интенсивные научные исследования по созданию компонентов банков технологических знаний проводят как в нашей стране, так и за рубежом.

Некоторые из представленных выше информационных потребностей технологи удовлетворяют за счет использования ресурсов сети Интернет, однако, неупорядоченность информации в сети, сложность навигации и ограниченность доступа к необходимой информации не позволяют рассматривать данный способ удовлетворения информационных потребностей производства в качестве альтернативы созданию банков знаний.

Создание банков знаний принципиально изменит содержание САПР ТП. Прежде всего исчезнет различие между системами проектирования ТП на основе аналогов и системами автоматизированного синтеза ТП. Ряд функций указанных систем возьмет на себя банк технологических знаний. Это позволит существенно повысить надежность проектирующих подсистем САПР ТП и в целом обеспечить высокое качество проектных решений.

Контрольные вопросы

1. Что называют данными?
2. Что является основной задачей информационного обеспечения САПР ТП?

3. Что образует информационную базу САПР ТП? Из каких основных частей она состоит?
4. Что называют входной, выходной и оперативной информацией САПР ТП?
5. Переменные каких типов используют в САПР ТП? Как представляют значения этих переменных?
6. Что называют информационным объектом в САПР ТП?
7. Каковы основные компоненты технологических знаний?
8. Перечислите основные модели представления технологических знаний. Какие модели наиболее часто используют при разработке САПР ТП?
9. Что такое база данных? Какие разновидности баз данных вы знаете?
10. Каковы основные функции и компоненты системы управления базой данных? Что учитывают при построении или выборе ее структуры?
11. Что такое банк данных? Какими основными свойствами он должен обладать?
12. Что такое база знаний? В состав каких компонент САПР ТП она входит?
13. Как организованы базы знаний экспертных систем?
14. Какую функцию выполняют экспертные компоненты САПР ТП?
15. Что такое банк технологических знаний? Какие информационные потребности пользователей САПР ТП он удовлетворяет?

4.1. Моделирование объектов в САПР ТП

Совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, примененных в САПР ТП, называют математическим обеспечением системы. Основу математического обеспечения САПР ТП составляют алгоритмы и методики решения задач технологического проектирования. Алгоритмом называют конечный набор предписаний для получения решения задачи посредством конечного числа операций (действий). В соответствии с алгоритмами разрабатывают впоследствии программное обеспечение и выполняют автоматизированное проектирование.

Разработка математического обеспечения является самым сложным этапом создания САПР ТП, от которого в наибольшей степени зависит эффективность ее работы.

Математическое обеспечение САПР ТП включает в себя:

математические модели объекта проектирования (ТП или его фрагментов), а также предмета производства (детали, сборочной единицы) в состояниях, соответствующих различным этапам проектируемого ТП;

формализованное описание принятой технологии автоматизированного проектирования.

В любой САПР ТП эти части математического обеспечения должны взаимодействовать. Эффективность взаимодействия определяет эффективность работы системы.

ТП в машиностроении — сложные динамические системы, в которых в едином комплексе взаимосвязаны оборудование, инструмент, обрабатываемые заготовки (собираемые узлы), средства технологического оснащения, вспомогательные и транспортные устройства, а также рабочие (операторы, сборщики).

В общем случае ТП в машиностроении представляют в виде многомерного объекта (рис. 4.1, а), на входе которого действует вектор входных переменных $\vec{x}(\tau)$:

$$\vec{x}(\tau) = [x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)],$$

где $x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)$ — составляющие вектора $\vec{x}(\tau)$, они характеризуют, прежде всего, полный набор свойств заготовок и полу-

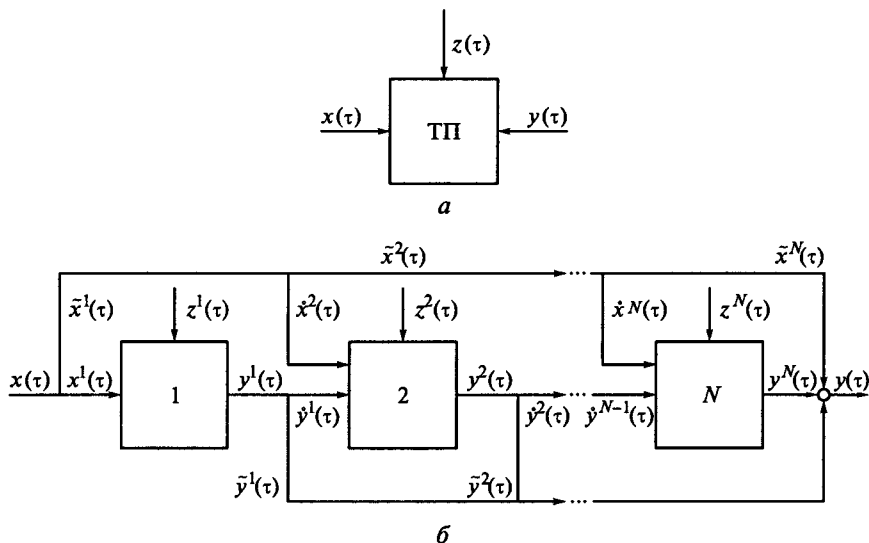


Рис. 4.1. Схема представления ТП:

a — без разделения на технологические операции; *б* — с разделением на технологические операции; 1, 2, ..., *N* — порядковый номер технологической операции

фабрикатов (размеры и их отклонения, шероховатость и микротвердость поверхностей, структурные параметры и т. д.), используемых в данном объекте.

Выходные переменные описывает вектор $\bar{y}(\tau)$:

$$\bar{y}(\tau) = [y_1(\tau), y_2(\tau), \dots, y_m(\tau)],$$

где $y_1(\tau), y_2(\tau), \dots, y_m(\tau)$ — составляющие вектора $\bar{y}(\tau)$, они характеризуют, например, свойства готовой детали (точность размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, шероховатость и микротвердость поверхностей и т. д.).

Составляющими как входного, так и выходного векторов могут быть не только конструктивно-технологические свойства заготовок, деталей, сборочных единиц, но и величины, отражающие технико-экономические показатели ТП.

Параметры, характеризующие условия протекания ТП, описывает вектор $\bar{z}(\tau)$:

$$\bar{z}(\tau) = [z_1(\tau), z_2(\tau), \dots, z_k(\tau)],$$

где $z_1(\tau), z_2(\tau), \dots, z_k(\tau)$ — составляющие вектора $\bar{z}(\tau)$, это, например, температура, давление, подача, частота вращения, а также факторы, оказывающие дестабилизирующее действие на ход ТП.

Размерность векторов $\bar{x}(\tau)$, $\bar{y}(\tau)$, $\bar{z}(\tau)$ для реальных процессов очень велика, и учесть все их составляющие невозможно, часть составляющих рассматривают как случайные функции.

Вектор $\bar{x}(\tau)$ включает в себя как измеряемые, так и неизмеряемые входные переменные. Учесть все входные переменные, влияющие на ход процесса и выходные переменные, невозможно. Практически ограничиваются только небольшой частью основных входных переменных, определяющих выходные переменные, а остальные относят к неконтролируемым факторам.

ТП представляет собой структуру последовательно соединенных элементов — технологических операций. Каждая операция характеризуется собственными, только ей присущими векторами входных и выходных переменных $\bar{x}^j(\tau)$ и $\bar{y}^j(\tau)$, а также вектором условий $\bar{z}^j(\tau)$. Размерность векторов входных и выходных переменных для операций значительно меньше, чем размерность одноименных векторов ТП.

Составляющая вектора входных переменных первой технологической операции является только частью составляющих вектора входных переменных ТП (рис. 4.1, б):

$$\bar{x}^1(\tau) \in \bar{x}(\tau), \bar{x}^1(\tau) \neq \bar{x}(\tau).$$

Неиспользованные в первой операции входные переменные $\bar{x}^1(\tau)$ поступают на вход второй операции. Составляющая \bar{x}^1 характеризует те свойства изделия, которые не подвергались изменению в первой технологической операции.

Вектор выходных переменных первой операции $\bar{y}^1(\tau)$ включает в себя составляющую $\bar{y}^1(\tau)$, которая в дальнейшем не будет изменяться и непосредственно войдет в вектор $\bar{y}(\tau)$ выходных переменных процесса, а также составляющую $\bar{y}^1(\tau)$ входных переменных для второй операции. Для множества составляющих вектора $\bar{y}^1(\tau)$ справедливо

$$\bar{y}^1(\tau) = \bar{y}^1(\tau) \cup \bar{y}^1(\tau),$$

где \cup — символ объединения множеств.

Другой составляющей для второй операции является вектор $\bar{x}^2(\tau)$, выделяемый как составляющая вектора $\bar{x}^1(\tau)$:

$$\bar{x}^2(\tau) \in \bar{x}^1(\tau), \bar{x}^2(\tau) \neq \bar{x}^1(\tau).$$

Вектор входных переменных для второй технологической операции $\bar{x}^2(\tau)$ имеет вид

$$\bar{x}^2(\tau) = \bar{y}^1(\tau) \cup \bar{x}^2(\tau).$$

Неиспользованные на второй операции входные переменные ТП поступают на вход третьей операции — составляющая $\bar{x}^2(\tau)$.

$$\bar{y}(\tau) = \bar{x}^N(\tau) \cup \bar{y}^N(\tau) \subset \left(\bigcup_{j=1}^{N-1} \bar{y}^j(\tau) \right),$$

где $\bar{x}^N(\tau)$ — составляющие вектора входных переменных $\bar{x}(\tau)$, обозначающие неиспользованные в ТП входные переменные, например параметры качества необрабатываемых поверхностей заготовок; $\bar{y}^N(\tau)$ — вектор выходных переменных последней (N) операции ТП; $\bar{y}^j(\tau)$ — составляющая вектора выходных переменных процесса, формируемая на промежуточных операциях, например параметры качества поверхностей, обработанных на некоторой операции и далее не обрабатывающихся.

Практически каждая составляющая вектора выходных переменных ТП формируется на нескольких операциях. Однако принято считать, что доминирующее влияние на составляющие вектора выходных переменных, характеризующие параметры качества готовой детали, оказывают финишные операции.

В процессе изготовления изделия свойства предмета производства непрерывно расширяются. На отдельных этапах (или в операциях) процесса каждое свойство изменяется по-разному. Формируемые при изготовлении изделия свойства, представляемые заданными значениями показателей качества, разделяют (см. рис. 4.1) на изменяемые и неизменяемые (квазистабильные).

Изменяемые свойства трансформируются в соответствии с выполняемым этапом процесса изготовления. Свойства могут изменяться как вследствие активного технологического воздействия, так и в результате изменения других свойств. Так, например, изменения характеристик геометрической формы заготовки вызывает не только механическая обработка, но и изменение структурных свойств материала вследствие химико-термической обработки.

Неизменяемые свойства, появившись на определенном этапе ТП, далее наследуются на других этапах и входят в состав окончательного множества свойств изделия.

Особенностью ТП в машиностроении является их вероятностный характер: входные переменные не определяют однозначно выходные параметры процесса. Вместе с тем ТП серийного и массового производства, если они спроектированы правильно, представляют собой достаточно устойчивые детерминированные системы.

Разброс составляющих вектора выходных переменных ТП отчасти объясняется наличием операций и переходов, выполняемых при управлении непосредственно человеком. С повышением уровня автоматизации разброс составляющих вектора выходных переменных снижается.

ТП в машиностроении имеют определенную направленность. При их выполнении абсолютные значения параметров качества, характеризующих геометрические свойства предмета производства

(отклонение размеров, формы, взаимного расположения, шероховатость поверхностей и т. п.), от операции к операции уменьшаются. Значения параметров качества, описывающих объемные свойства материала, наоборот, возрастают, особенно после операций химико-термической обработки. Выполнение последней приводит к увеличению абсолютных значений отклонений размеров, формы и т. д.

Математическая модель ТП, как объекта проектирования, должна связывать конечные множества переменных $x(\tau)$, $z(\tau)$ с характеристиками выходных переменных $y(\tau)$. Получить такую модель для всего ТП затруднительно, вследствие ее значительной размерности, определяемой большим числом связываемых в ней переменных.

Математическая модель объекта проектирования должна удовлетворять требованиям универсальности, точности, адекватности и экономичности. Универсальность модели характеризует полноту отражения в ней свойств реального объекта. Математическая модель обычно отражает лишь некоторые свойства объекта.

Точность модели определяется степенью совпадения параметров реального объекта и значений тех же параметров, вычисленных с помощью математической модели.

Адекватность модели — способность отображать заданные свойства объекта с погрешностью не выше заданной. Как правило, любая математическая модель адекватна лишь в ограниченной области изменения используемых в ней переменных.

Экономичность модели характеризуют затраты вычислительных ресурсов (времени работы и требуемой памяти компьютера) на ее реализацию и работу с нею.

В математических моделях различают данные трех типов: об элементах самого объекта моделирования, о свойствах и об отношениях между элементами и свойствами объекта.

Сложный объект может рассматриваться как неструктурированный объект, представляющий собой единое целое, или как система взаимосвязанных элементов одного уровня, или как многоуровневая иерархическая система.

Объект моделируется на уровнях структурных (методами теории множеств и теории графов), логических (методами математической логики) и количественных свойств и отношений (методами функционального анализа, теории дифференциальных уравнений, математической статистики с непрерывным или дискретным изменением аргументов). На каждом из этих основных уровней возможны описания объекта с различной степенью полноты и обобщения структурных, логических и количественных свойств и отношений.

Создание модели, которая достаточно точно отражает характерные свойства объекта или его элемента на данном уровне про-

ектирования и в то же время является доступной для анализа и исследования, вызывает значительные трудности.

Выбор вида математической модели при технологическом проектировании определяется формой представления входной информации и общей целью моделирования.

На структурном уровне моделируют состав элементов объекта и отношения между элементами. К структурным относят бинарные отношения иерархической подчиненности, отношения порядка, смежности, сопряженности, функциональной связи и т. д.

На логическом уровне определяют отношения между элементами, представленными в виде логических переменных. Логические отношения отражают причинно-следственные связи. Последние описывают последовательности изменения состояний объекта с учетом состояния других, необязательно смежных с ним, объектов.

К структурно-логическим моделям относят табличные, сетевые и перестановочные. Табличная модель описывает одну конкретную структуру ТП. Каждому набору условий соответствует единственный вариант объекта проектирования. Эти модели, представляемые обычно в виде графа, используют, например, для поиска ТП-аналогов.

Сетевая модель описывает множество структур ТП, отличающихся количеством и составом элементов при неизменном отношении порядка.

Перестановочная модель описывает множество структур ТП, отличающихся количеством и составом элементов при изменении отношения порядка.

Структуру в сетевой модели представляют ориентированным графом, не имеющим ориентированных циклов. В графах, соответствующих перестановочным моделям, такие циклы есть.

Наиболее распространены детерминированные (не содержащие элементов случайности) модели. Переменные в этих моделях чаще всего являются действительными числами, а множество решений — счетно. В большинстве случаев при проектировании ТП используют статические модели.

По форме представления связей между выходными, входными и внутренними параметрами при обработке или сборке элементов изделий различают модели в виде систем уравнений (алгоритмические модели) и модели в виде явных зависимостей (например, показателей качества от режимов обработки) выходных параметров от внутренних и внешних (аналитические модели).

Функциональные модели отражают физические процессы, протекающие в технологических системах (взаимодействия инструмента и заготовки, оборудования и технологической оснастки, оборудования и инструмента и т. д.).

Функциональные модели обычно используют при решении следующих задач:

- определение оптимальной последовательности выполнения технологических переходов в операции или рабочих ходов в переходе;
- объединение переходов для одновременного выполнения и распределения их по позициям оборудования и определение последовательности выполнения переходов;
- определение оптимального маршрута обработки поверхности с оптимизацией режимов обработки;
- оптимизация параметров обработки или сборки при выполнении технологического перехода или рабочего хода.

Количественные соотношения, определяющие связь между переменными элементов (компонентов) проектируемого объекта, получили название компонентных уравнений. Вид и способ получения компонентных уравнений зависит от глубины структурирования объекта. При этом целесообразно получаемые модели элементов разделить на два класса: макромоделли и микромоделли.

Если при создании модели не рассматривают внутреннюю структуру моделируемых элементов объекта и закономерности, определяющие их функционирование, а целью моделирования является обеспечение возможности адекватно предсказать реакцию компонента по реакции его модели, такие модели называют макромоделлями.

Микромоделли учитывают структуру и состав элементов объекта. Так, например, маршрутное представление ТП можно рассматривать как основу его макромоделли. Модели операций, как последовательностей технологических переходов, являются в этом случае микромоделлями ТП.

При количественном описании и решении задач проектирования ТП используют математические модели различных классов.

Наиболее распространены линейные модели. Для многих составляющих вектора \bar{y}_i выходных переменных, в особенности, характеризующих параметры качества обработки (погрешности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, волнистость, микротвердость и т. д.), связь с выходными переменными x_j , представляющими аналогичные параметры заготовки, и вектором условий z_l , характеризующим, например, параметры режима обработки, жесткость, процессы развития во времени элементарных погрешностей обработки и т. д., может быть представлена либо линейными, либо допускающими линеаризацию зависимостями:

$$y_i = a_{i0} + \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + \sum_{l=1}^k b_{il}z_l, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где a_{i0} — постоянные составляющие входных переменных; a_{ij} , b_{il} — коэффициенты влияния входных переменных и условий протекания процесса на i -ю составляющую вектора выходных переменных соответственно.

Математическое моделирование объектов технологического проектирования в ряде случаев затруднено. Это связано с рядом причин:

- практические приложения аппарата математического моделирования к моделированию технологических объектов следует считать разработанными недостаточно. Отсутствуют ясные рекомендации и правила выбора конкретных методов, в особенности, при синтезе математических моделей объектов;

- формализация технологических задач для целей моделирования достаточно затруднительна, что усложняет применение для их решения наиболее соответствующего формального математического аппарата;

- отсутствует возможность сравнения качества математических моделей объектов, полученных с использованием различных методов моделирования, что, в свою очередь, затрудняет выбор последних;

- слабо проработаны особенности интерпретирования результатов моделирования в собственно решения. Процессы моделирования и принятия соответствующего решения обычно отождествляют.

Рассмотрим возможные методические подходы к созданию относительно простых и надежных моделей объектов проектирования в САПР ТП.

Любая деталь — упорядоченный комплекс обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей. Каждую из обрабатываемых поверхностей изготавливают в соответствии с собственным маршрутным процессом. Завершению ТП изготовления детали в целом соответствует и завершение всех элементарных маршрутных процессов изготовления ее поверхностей.

Состояние каждой поверхности в любой момент времени (в ходе ТП) может быть представлено вектором состояния качества (ВСК), элементы которого характеризуют метрические (измеряемые) показатели качества: отклонения основного размера (\bar{K}_1); отклонения формы (\bar{K}_2); отклонения расположения поверхности (\bar{K}_3); шероховатость поверхности (\bar{K}_4); глубина дефектного слоя (\bar{K}_5); твердость (микротвердость, \bar{K}_6); характеристика прочности (\bar{K}_7) и т.д.

Число показателей качества (элементов ВСК) даже для одной поверхности может быть значительным — до 30 и более. В традиционной практике машиностроения для поверхности назначают значительно меньшее число контролируемых показателей.

Для выделенной (l) поверхности заготовки после выполнения j -й операции ВСК можно записать так:

$$\bar{K}_j^l = [K_{ii}]_j, \quad l = \text{const}; \quad i = 1, 2, \dots, I,$$

где I — общее число элементов ВСК (показателей качества) для l -й поверхности заготовки.

Состояние качества обрабатываемой заготовки, включающей L поверхностей, после выполнения j -й операции характеризует одноименная матрица:

$$\bar{K}_j^l = [K_{ij}]_j, \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad i = 1, 2, \dots, I.$$

Состояние качества изготовленной детали, соответствующей техническим требованиям на изготовление, представляет эталонная матрица состояния качества, каждый элемент которой характеризует эталонное (допустимое) значение показателя.

Изменение состояния качества при изготовлении поверхности l может быть условно представлено, как движение конца ВСК \bar{K}_j^l в пространстве качества \bar{K}^S (рис. 4.2), $K_1 - K_i$ — элементы (координаты) пространства качества \bar{K}^S ; $\bar{K}_1^l, \dots, \bar{K}_5^l$ — вектор состояния качества поверхности l для состояний (1), (2), ..., (5); $\bar{P}_1, \dots, \bar{P}_4$ — векторы перевода качества из состояния j в состояние $(j + 1)$; $(K_{\text{доп}}^S)_1, (K_{\text{доп}}^S)_5$ — подпространства допустимого качества для исходного (1) и конечного (5) состояний качества поверхности l . Каждому этапу процесса изготовления поверхности соответствует определенное подпространство допустимого качества $(K_{\text{доп}}^S)_l$.

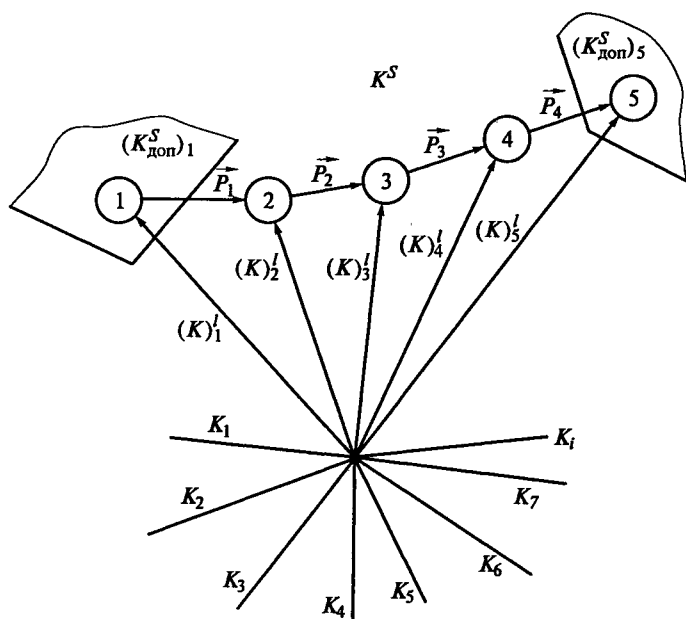


Рис. 4.2. Иллюстрация изменения состояния качества при изготовлении поверхности l

Перевод ВСК из состояния j в состояние $(j+1)$ выполняет вектор перевода качества \bar{P}_j . Для фиксированных состояний этих векторов:

$$\bar{K}_j^l + \bar{P}_j = \bar{K}_{j+1}^l.$$

Вектор перевода качества представляют с помощью линейных преобразований:

$$\bar{P}_j = [S]_j (\bar{K}^T)_j^l,$$

где $[S]_j$ — матрица перевода качества, количественно характеризующая технологическое воздействие при переводе ВСК из состояния j в состояние $(j+1)$; $(\bar{K}^T)_j^l$ — транспонированный ВСК поверхности l в состоянии j .

Последовательность векторов перевода, начало которой находится в подпространстве допустимого качества $(\bar{K}_{\text{доп}}^S)_1$ для первого состояния ВСК, соответствующего, например, заготовке, а конец — в подпространстве допустимого качества $(\bar{K}_{\text{доп}}^S)_5$, соответствующего готовой поверхности, будем называть маршрутным ТП изготовления поверхности l .

Для векторов перевода качества существуют ограничения предшествования: для того, чтобы j -й вектор перевода качества мог стать реализуемым, $(j-1)$ вектор перевода должен обеспечить ВСК, заканчивающийся в подпространстве допустимого качества $(\bar{K}_{\text{доп}}^S)_j$.

Один и тот же вектор перевода качества может быть реализован несколькими вариантами. Задача построения оптимальной структуры ТП сводится к выбору необходимых ограничений предшествования и вариантов реализации векторов перевода качества. При этом учитывают, что каждая реализация вектора перевода качества связана с определенными значениями затрат, производительности и надежности достижения допустимых значений показателей качества.

Приведенная векторная интерпретация справедлива не только для процесса изготовления отдельно взятой поверхности, но и для ТП изготовления детали в целом. На ее основе разработана линейная модель трансформации свойств предмета производства в ТП изготовления изделия [9], рассматриваемая на примере изготовления детали.

Формирование свойств детали при ее изготовлении происходит в результате двух одновременно протекающих процессов — изменения свойств (и соответствующих значений показателей качества) и их сохранения (наследования).

Множество значений показателей качества детали после выполнения j операции ее изготовления $[K_i]_j$ с учетом закономерности

стей изменения и сохранения свойств в детерминированном представлении определяют по формуле

$$[K_i]_j = [S_i]_j [K_i]_{j-1} + \sum_{i=1}^{i=n} [k_{im}] [K_m]_{j^*},$$

где $[K_i]_{j-1}$ — множество значений показателей качества, характеризующих состояние обрабатываемой заготовки после выполнения предшествующей ($j-1$) операции; $[S_i]_j$ — матрица коэффициентов изменения показателей качества в результате воздействия технологического метода j операции; $i = 1, 2, \dots, n$ — индексы элементов множества показателей качества предмета производства; $[k_{im}]$ — матрица коэффициентов, характеризующих изменения показателя i в зависимости от показателя m ($i, m = 1, 2, \dots, n; i \neq m$); $[K_m]_{j^*}$ — значения показателей качества предмета производства, сформированных до выполнения операции j , но оказывающих влияние на показатели качества, формирующиеся в операции j

$$[S_i]_j = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & S_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & S_n \end{bmatrix}_j.$$

Для методов механической обработки $0 \leq S_i \leq 1$, для методов химико-термической обработки $S_i > 1$. Значения коэффициентов изменения показателей точности размеров и параметров шероховатости для некоторых методов обработки приведены в [9].

Матрица $[k_{im}]$ имеет структуру

$$[k_{im}] = \begin{bmatrix} 0 & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & 0 & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

Для конкретного показателя качества K_i

$$(K_i)_j = (S_i)_j (K_i)_{j-1} + \sum_{i=1}^{i=n} k_{im} (K_m)_{j^*}.$$

Здесь первое слагаемое характеризует влияние на результирующие значения показателя качества собственно технологического метода и условий его реализации, второе — влияние технологической наследственности. При проектировании ТП изготовления деталей, предельная точность размеров которых не превышает 7-го качества, и особенно на ранних этапах проектирования с погрешностью не превышающей 25 % можно принять

$$[K_i]_j = [S_i]_j [K_i]_{j-1}.$$

Представленную модель трансформации свойств предмета производства можно использовать, например, при автоматизации синтеза структур ТП изготовления детали.

При необходимости учета в формируемом маршрутном ТП закономерности изменения, сохранения и взаимного влияния показателей качества синтез ТП осуществляют следующим образом:

- выполняют автоматизированный синтез ТП на основе общетехнологических принципов и правил. Определяют первичную структуру и основные параметры процесса;

- приняв за основу указанную структуру ТП, выполняют прогноз изменения показателей качества с учетом закономерностей изменения, сохранения и взаимного влияния формируемых показателей качества;

- в случае если желаемый уровень значений показателей качества не достигнут, выполняют корректировку структуры ТП.

Применяемый при этом математический аппарат подробно описан, например, в [9].

Автоматизированное проектирование ТП невозможно без использования геометрическо-технологических моделей предметов производства (заготовок, деталей и сборочных единиц).

Геометрическо-технологическая модель предмета производства определяет геометрические элементы, из которых он состоит, взаимосвязи этих элементов и технические (технологические) требования на их изготовление. Модель должна быть ориентирована на использование в САПР ТП.

Чертежи, традиционно используемые в промышленности, можно рассматривать как геометрическо-технологические модели предметов производства, но предназначенные для восприятия и работы с ними человека. Для применения в САПР ТП чертежи малопригодны.

Используемый в САПР ТП метод моделирования предмета производства должен позволять его многоуровневое представление, уровни:

- модели — предмет рассматривают как целостную систему (физический объект);

- элемента — может быть выделен, идентифицирован и рассмотрен каждый из образующих модель элементов: для сборочной единицы эта деталь, для детали — комплекс поверхностей;

- поверхности — может быть идентифицирована любая из поверхностей, входящих в состав комплекса или детали;

- точки — могут быть определены координаты любой точки любой из поверхностей детали.

Размерные характеристики и технические требования на изготовление любого элемента и предмета производства в целом представляют собой геометрические параметры и технологические атрибуты (ГПТА) модели.

В САПР широко применяют плоское (2D) и объемное (3D) моделирование предметов производства. При плоском моделировании используют чертежный и твердотельный способы.

В чертежном способе для создания модели применяют отрезки прямых, дуги, полилинии и кривые. Базовыми операциями моделирования являются продление, обрезка и соединение.

В твердотельном способе используют замкнутые контуры. Остальные элементы играют вспомогательную или оформительскую роль. Главными операциями являются булевы объединения, дополнения и пересечения.

В современных САПР К чертежный и твердотельный способы моделирования эксплуатируют одновременно.

Основной недостаток плоского моделирования — невозможность задания неаналитических кривых (сплайнов). Необходимость работы с неаналитическими кривыми и поверхностями привела к возникновению плазово-шаблонного метода подготовки производства, где основой является мастер-модель, например, детали, изготавливаемая из материалов, имеющих минимальные коэффициенты теплового расширения и высокую износостойкость (турбостроение, авиационная промышленность).

Идеология объемного моделирования базируется на использовании объемной мастер-модели. Объемная модель однозначно определяет геометрию всей спроектированной поверхности. Современные методы проектирования поверхностей позволяют моделировать предметы при минимуме используемых исходных данных. Например, одним из наиболее распространенных методов описания широкого класса поверхностей является движение профиля вдоль направляющей.

Различают поверхностное и твердотельное объемное моделирование. При поверхностном моделировании предмет производства представляют семейством ограничивающих его поверхностей. Базовыми операциями являются продление, обрезка и соединение поверхностей.

При твердотельном моделировании предмет представляют сочетанием элементарных тел (шар, тор, цилиндр, пирамида и т. д.). Главные операции — булевы объединение, дополнение и пересечение.

Современные CAD/CAM-системы позволяют работать как с телами, так и с отдельными поверхностями, используя булевы и «поверхностные» процедуры.

С модели может быть получена не только информация о координатах любой точки на поверхности, но и другие локальные (нормали, кривизны и т. д.) и интегральные характеристики (объем, площадь поверхности, моменты инерции и т. д.). На ее основе всегда можно получить плоские модели: виды, сечения и разрезы.

В отличие от чертежа модель является однозначным представлением геометрии и количественного состава объекта. Если в сборочном чертеже болт представляется несколькими видами, то в объемной сборке — одним объектом, моделью болта.

Несмотря на впечатляющие успехи в конструкторском моделировании предметов производства (деталей и сборочных единиц), модели, формируемые САПР К или САД-подсистемах систем САД/САМ, пока не в полной мере удовлетворяют условиям их полноценного использования в САПР ТП и в целом не являются геометрическо-технологическими. Основные причины этого следующие:

- модель, формируемая в САПР К, не позволяет связать ГПТА, например, детали с моделью (или ее отдельными элементами) в форме, приемлемой для формирования проектных технологических решений. САПР ТП не опознает предмет производства «технологически»;

- модель предмета производства должна быть теснейшим образом связана с состоянием объекта проектирования (ТП), т. е. должна быть динамической и контекстно-зависимой: она должна изменяться в зависимости от результатов выполненного этапа проектирования и точно соответствовать текущему состоянию предмета производства.

Разработка геометрическо-технологической модели предмета производства всегда основана на визуализации предмета и образующих его элементов.

При моделировании предмета, например, с использованием Т-комплексов пользователь выбирает их из имеющегося каталога (см. табл. 2.7), задавая для каждого из них матрицу ГПТА.

Основные ГПТА Т-комплексов и типы переменных

СИСТЕМНЫЕ АТТРИБУТЫ:

идентификатор комплекса	С
номер, присвоенный пользователем	Ц
число поверхностей комплекса	Ц
поверхность связи	Ц
поверхность связи предыдущего комплекса	Ц
номер предыдущего комплекса (пользовательский)	Ц
наличие комплекса в заготовке	Л

ТИПЫ ОБРАЗУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ:

поверхность 1	С
поверхность 2	С
поверхность 3	С

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ:

плоскость типа А:	
размер, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д

размер, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
плоскость типа Б:	
диаметр, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
плоскость типа В:	
диаметр больший, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
диаметр меньший, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
цилиндр:	
диаметр, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
длина, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
конус:	
диаметр больший, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
диаметр меньший, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
длина, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
радиус, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение	Д
угол, град/отклонение, град	Д
выдерживаемый размер:	
величина, мм/верхнее отклонение/нижнее отклонение/номер исходной поверхности/номер комплекса связи/номер поверхности связи	Д/Д/Д/Ц/Ц/Ц
параметры шероховатости:	
<i>Rz</i> , мкм	Д
<i>Ra</i> , мкм	Д
<i>Rmax</i> , мкм	Д
<i>Sb</i> , мм	Д
<i>S</i> , мм	Д
<i>tp</i> , %	Д
микротвердость, HRC	Ц

ДОПУСКИ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ:

прямолинейности:	
значение, мм/длина, мм/номер поверхности	Д/Д/Ц
плоскостности:	
значение, мм/номер поверхности	Д/Ц
круглости:	
значение, мм/номер поверхности	Д/Ц
цилиндричности:	
значение, мм/длина, мм/номер поверхности	Д/Д/Ц

ДОПУСКИ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ

ПОВЕРХНОСТЕЙ:

параллельности:	
значение, мм/длина, мм/номер базовой поверхности/номер комплексной связи/номер поверхностной связи	Д/Д/Ц/Ц/Ц
перпендикулярности:	
значение, мм/длина, мм/номер базовой поверх-	

ности/номер комплексной связи/номер поверхностной связи Д/Д/Ц/Ц/Ц

соосности:

значение, мм/номер базовой поверхности/номер комплексной связи/номер поверхностной связи Д/Ц/Ц/Ц

торцевого биения:

значение, мм/радиус, мм/номер базовой поверхности/номер комплексной связи/номер поверхностной связи Д/Д/Ц/Ц/Ц

радиального биения:

значение, мм/номер базовой поверхности/номер комплексной связи/номер поверхностной связи Д/Ц/Ц/Ц

Примечание. Типы переменных: С — символьный, Ц — целочисленный, Д — действительный, Л — логический.

В матрице выделены блоки элементов системной информации; собственных ГПТА поверхностей Т-комплекса; выдерживаемых (межкомплексных) ГПТА. Задание ГПТА связывает Т-комплексы в единый объект. К Т-комплексам применимы процедуры перемещения в пространстве моделирования, масштабирования и поворота относительно как пользовательской, так и мировой систем координат. На рис. 4.3 показана декомпозиция изображаемой детали на Т-комплексы, из которых ее формируют.

Все поверхности детали (заготовки) разделяют на поверхности главных и вспомогательных форм. Поверхности главных форм ограничивают в пространстве моделируемый объект максимального объема. Поверхности вспомогательных форм уточняют геометрический облик детали (заготовки) и ориентируются (координируются) относительно поверхностей главных форм.

К поверхностям главных форм детали (заготовки) относят наружные поверхности, если их основные размеры не отличаются более чем в k_G раз (k_G — принятый количественный критерий) от принятой меры G_R . Рекомендуемое значение $k_G = 5 - 10$. Величину G_R задают двумя способами: как максимальный габаритный размер детали (заготовки) и как максимальный размер из множества всех размеров наружных поверхностей.

Внутренние поверхности относят к поверхностям главных форм, если каждый из их основных размеров отличается от максимального размера поверхности, уже признанной главной формой, не более чем в k_V раз (k_V — задаваемый количественный критерий).

При моделировании заготовок не относящиеся к главной форме поверхности «поглощаются» ближайшей наружной поверхностью главной формы.

Моделирование деталей начинают с Т-комплексов, включающих в себя хотя бы одну поверхность, относящуюся к поверхностям главных форм. Модель формируют присоединением последующего комплекса к предыдущему.

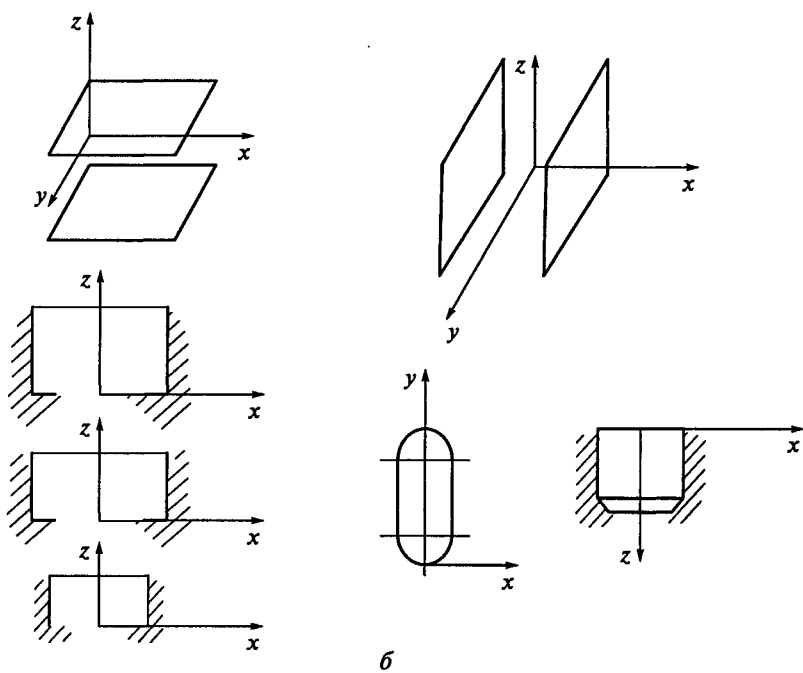
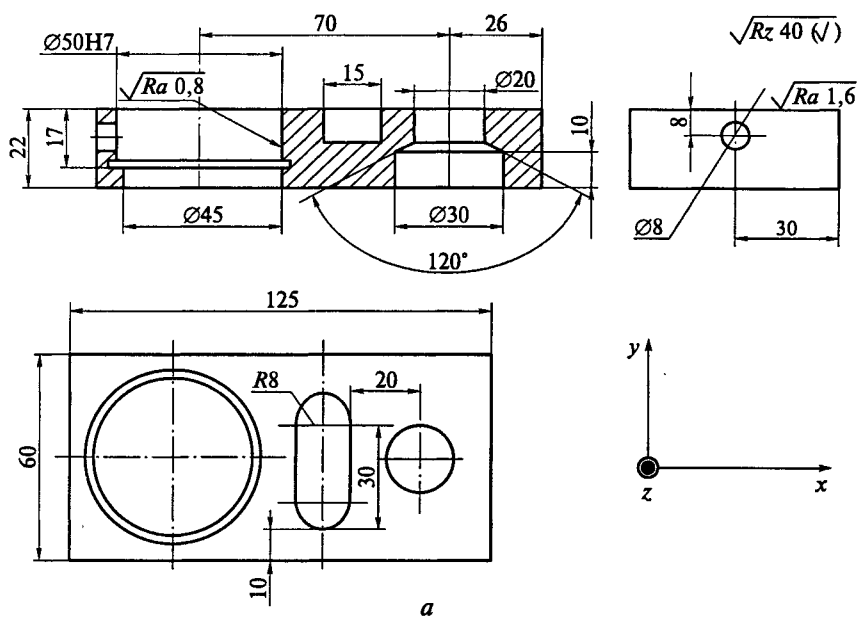


Рис. 4.3. Декомпозиция детали (а) на Т-комплексы (б)

Для деталей — тел вращения Т-комплексы главных форм соединяют между собой в положительном направлении продольной оси детали. Для деталей, не являющихся телами вращения, Т-комплексы соединяют в положительных направлениях любых двух координатных осей (например, z и x). На действия пользователя накладывают ограничения, обусловленные использованием для моделирования базовой графической среды. Сформированная на основе Т-комплексов модель предмета производства — детали может быть использована для решения сложных задач технологического проектирования, например, синтеза маршрутных ТП.

Формализация собственно процессов автоматизированного проектирования значительно сложнее, чем алгоритмизация отдельных проектных задач. В перспективе должна быть формализована вся логика технологии проектирования, в том числе и взаимодействия проектировщиков друг с другом с использованием средств автоматизации. Задачи формализации процессов проектирования усложняются с накоплением опыта их автоматизации и, в настоящее время, решаются в основном эмпирически (методом проб и ошибок).

Математическое обеспечение САПР ТП должно описывать во взаимосвязи объект, процесс и средства автоматизации проектирования. Идет процесс интеграции в единый комплекс средств моделирования сложных систем, математических методов описания объектов проектирования, математической логики, теории принятия решений, теории автоматического управления, системного анализа и т. д. В указанном процессе выделены два перспективных направления:

1) развитие методов получения оптимальных проектных решений, в том числе ориентированных на автоматизированное проектирование;

2) создание, совершенствование и типизация самих процессов автоматизированного проектирования, инвариантных к видам их объектов.

В связи с практической сложностью и высокой трудоемкостью поиска оптимальных проектных решений с помощью точных математических методов все большее применение находит поиск эффективных проектных решений на основе использования банков технологических знаний (см. подразд. 3.2). Содержание банка технологических знаний можно рассматривать как логико-эвристическую модель ТП. Типизация и селекция ТП, близких к оптимальным по основным параметрам, и их размещение в базах данных со временем обеспечат трансформацию банков данных в полноценные банки технологических знаний.

Типизация процессов проектирования и проектных процедур позволит резко сократить трудоемкость разработки математического обеспечения САПР ТП при одновременном повышении его качества.

4.2. Оценка и оптимизация проектных технологических решений

Целью технологического проектирования является разработка объектов (ТП, операций, управляющих программ для станков с ЧПУ), оптимальных для заданных условий их применения.

Характеристики оптимального объекта обеспечивают при заданных ограничениях их значений достижение экстремума заданной целевой функции.

Для решения оптимизационной задачи необходимо:

- построить модель объекта проектирования;
- задать ограничения для значений характеристик объекта;
- определить целевую функцию;
- определить значения характеристик объекта, обеспечивающие достижение экстремума целевой функции.

Отбор более предпочтительных вариантов объектов проектирования выполняют, оценивая и сравнивая их по какому-либо признаку (характеристике). Признак, на основании которого проводят такую оценку и сравнение называют **критерием**. Критерием называют и способ сравнения различных стратегий достижения поставленной цели проектирования.

Значение, принимаемое критерием для данного объекта, называют оценкой. Оценка может быть количественной, выражаемой размерной или безразмерной величиной, или качественной («хуже», «лучше», «хорошо», «плохо» и т.д.).

При сравнении технологических операций и процессов применяют следующие абсолютные и относительные критерии.

1. Основное (t_o), штучное ($t_{шт}$) и штучно-калькуляционное время ($t_{шт-к}$) применяют при первичном, приближенном оценивании вариантов технологических операций. Более предпочтительному варианту соответствует меньшее значение каждой из приведенных величин. Этот критерий не может быть применен для окончательного выбора варианта, но позволяет выделить более производительный вариант операции.

2. Коэффициент основного времени (η_o)

$$\eta_o = t_o/t_{шт}$$

Критерий используют для сравнения операций. Чем больше (ближе к единице) значение η_o , тем эффективнее использовано оборудование.

3. Трудоемкость изготовления детали или сборочной единицы (T_d)

$$T_d = \sum_{i=1}^{i=N} t_{шт-к}$$

где $t_{шт-к}$ — штучно-калькуляционное время для i операции ТП; N — число операций в ТП изготовления детали или сборочной единицы.

Более предпочтительному варианту ТП соответствует меньшее значение T_d .

4. Коэффициент основного времени для ТП в целом $(\eta_o)_{ТП}$

$$(\eta_o)_{ТП} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} t_{oi}}{T_d},$$

где t_{oi} — основное время для i операции.

Чем ближе значение $(\eta_o)_{ТП}$ к единице, тем более предпочтительен вариант ТП.

5. Себестоимость изготовления детали (C)

$$C = M_o + Z_o + Ц_o,$$

где M_o — стоимость основных материалов или исходной заготовки за вычетом стоимости реализуемых отходов; Z_o — заработная плата основных производственных рабочих; $Ц_o$ — цеховые расходы (амортизация и ремонт оборудования; затраты на электроэнергию, инструмент; заработная плата вспомогательных рабочих и т. д.). Варианту более предпочтительному соответствует меньшее значение себестоимости. Точную оценку себестоимости при автоматизированном проектировании получить трудно, поэтому ее часто оценивают приближенно:

$$C = M_o + Z_o \left(1 + \frac{Ц_n}{100} \right),$$

где $Ц_n$ — цеховые (накладные) расходы в процентах от заработной платы основных рабочих.

6. Суммарные (приведенные) затраты (Π)

$$\Pi = C + EK,$$

где E — коэффициент сравнительной экономической эффективности; K — капиталовложения (дополнительные) при реализации ТП. Чем меньше затраты, тем более предпочтителен вариант ТП.

Кроме приведенных используют и другие критерии [2], в том числе и связанные с рассмотренными, например, производительность (технологическая и цикловая), оперативное время, коэффициент загрузки оборудования, экономическая точность, стойкость лимитирующего инструмента, расход инструмента и т. д.

Частные (локальные) критерии позволяют оценить объект проектирования по конкретному признаку, но не дают возможности оценить объект в целом. Так, например, на основании критерия «трудоемкость» однозначно выбрать ТП нельзя, так как в ТП с

меньшей трудоемкостью изготовления изделия может быть использовано более дорогостоящее оборудование. Это может вызвать резкий рост суммарных затрат на его реализацию.

Каждый из приведенных критериев характеризует объект проектирования лишь с определенной стороны. Полученная оценка, как правило, недостаточна для окончательного выбора варианта ТП или технологической операции.

Выбор наиболее эффективного варианта ТП обычно требует решения задачи многокритериальной оптимизации и применения обобщенных (комплексных) критериев.

Любое проектное технологическое решение принимают с целью достижения полезного эффекта при его реализации. Полезный эффект от реализации спроектированного ТП могут характеризовать, например, его производительность, надежность обеспечения доминирующих показателей качества, прибыль и т. д. Желательно, чтобы полезный эффект (Q) от реализации ТП был максимальным.

С другой стороны, разработка и реализация ТП связана с соответствующими затратами (Z), которые желательно минимизировать. При этом $Z \neq 0$ (реализация ТП без затрат невозможна). Возникает неопределенность цели проектного решения:

$$\begin{cases} Q \rightarrow \max; \\ Z \rightarrow \min. \end{cases}$$

Преодоления этой неопределенности достигают введением комплексного критерия (K_k):

$$K_k = \frac{Q}{Z}.$$

Более предпочтительному варианту ТП соответствует большее значение K_k . Достоинством этого критерия является то, что в нем учтены разные стороны проектного решения.

Если критериев много, то выбор единственного проектного решения или целевой функции для его оптимизации затруднителен. Рассмотрим лишь некоторые из методических подходов, используемых при этом.

Пусть объект проектирования, характеризуемый множеством параметров $\{p\}$, должен удовлетворять множеству частных критериев:

$$f_1(p) \rightarrow \max, f_2(p) \rightarrow \max, \dots, f_n(p) \rightarrow \max.$$

Линейная свертка частных критериев является простейшим способом сведения многокритериальной задачи к однокритериальной. Вместо n частных критериев предлагают рассматривать один критерий вида

$$F(p) = \sum_{i=1}^{i=n} c_i f_i(p),$$

где c_i — положительные числа, нормированные тем или иным способом,

$$\sum_{i=1}^{i=n} c_i = 1.$$

Такой подход вводит, по существу, отношение эквивалентности критериев. Величина c_i показывает на сколько изменяется целевая функция $F(p)$ при изменении критерия $f_i(p)$ на единицу:

$$c_i = \frac{\partial F}{\partial f_i}.$$

Значения c_i определяют по результатам экспертизы. Часто их называют весовыми коэффициентами или коэффициентами значимости. Использование линейной свертки при выборе единственного варианта ТП может привести к ошибочному результату. Это объясняется, во-первых, условностью выбора весовых коэффициентов и, во-вторых, недопустимостью введения в ряде случаев отношения эквивалентности частных критериев.

Использование контрольных показателей. Задана система нормативов

$$f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*.$$

Необходимо найти максимумы функций $f_i(p)$ при условиях $f_i(p) \geq f_i^*$, $i = 1, 2, \dots, n$. Подобная ситуация возникает, когда стремятся спроектировать ТП, технико-экономические показатели которого превосходят показатели заданного (базового) ТП.

Целевую функцию удобно представить в виде

$$F(p) = \min \frac{f_i(p)}{f_i^*}.$$

Необходимо найти вектор \bar{p} , обеспечивающий $\max F(p)$. Смысл этого подхода: при данном значении вектора \bar{p} функция $F(p)$ соответствует наихудшему из показателей $f_i(p)$. При $F(p) \rightarrow \max$ происходит выбор системы параметров p , обеспечивающей максимум отношения реально достигнутого значения критерия к его контрольному значению.

При задании ограничений на значения параметров задачу оптимизации при использовании линейной свертки критериев или контрольных показателей сводят к задаче линейного программирования.

В простейшем случае при использовании контрольных показателей преодоления неопределенности цели можно достичь, выделив среди критериев основной (доминирующий), например, $f_m(p)$. Тогда задачу оптимизации сводят к однокритериальной задаче: $f_m(p) \rightarrow \max$.

Введение метрики в пространстве целевых функций. При данном подходе решают систему однокритериальных задач:

$$f_i(p) \rightarrow \max, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Тогда для i задачи вектор $p = p_i$ обеспечивает максимум критерию $f_i(p)$:

$$f_i(p_i) = \hat{f}_i.$$

Совокупность скалярных величин \hat{f}_i определяет в пространстве критериев точку абсолютного максимума. Если векторы p_i различны, то не существует такого выбора, который бы позволил достичь этой точки. Точка $(\hat{f}_1, \hat{f}_2, \dots, \hat{f}_n)$ является недостижимой в пространстве критериев. Тогда, в простейшем случае, скалярная величина

$$h = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (f_i(p) - \hat{f}_i)^2}$$

определяет в пространстве некоторое расстояние от точки, соответствующей данному вектору \vec{p} до точки абсолютного максимума. Множество критериев преобразуется в единственный скалярный критерий $h \rightarrow \min$.

Применение компромиссов Парето. Пусть для многокритериальной задачи сделан выбор вектора параметров объекта проектирования p^* . Существует и другой выбор \hat{p} и для всех частных критериев:

$$f_i(\hat{p}) \geq f_i(p^*), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

При этом хотя бы одно неравенство строгое. Очевидно, что выбор \hat{p} предпочтительнее p^* . Все векторы p^* следует исключить из рассмотрения. Имеет смысл сопоставлять и подвергать неформальному анализу только те векторы p^* , для которых не существует \hat{p} такого, что для всех критериев выполняются указанные неравенства.

Множество таких векторов p^* называют множеством Парето, а вектор p^* — наилучшим вектором результатов, если из $f_i(\hat{p}) \geq f_i(p^*)$ следует, что $f_i(\hat{p}) = f_i(p^*)$.

В частности, если цели определяются двумя однозначными функциями

$$f_1(p) \rightarrow \max;$$

$$f_2(p) \rightarrow \max,$$

то допустимому значению p отвечает одна точка на плоскости $(f_1; f_2)$ и равенства

$$f_1 = f_1(p); \quad f_2 = f_2(p),$$

определяющие параметрическое задание некоторой кривой на этой плоскости.

Любой ТП представляет собой систему, элементом которой являются технологические операции. Затраты (времени, средств, энергии) на реализацию ТП в целом определяют суммированием затрат на реализацию его элементов — операций.

Критерий называют аддитивным, если значения соответствующей ему оценки (W) получают суммированием составляющих оценок

$$W = \sum_{i=1}^{i=n} W_i,$$

где n — число составляющих оценок; W_i — значение i составляющей оценки.

Аддитивные критерии часто используют при оценивании и сравнении ресурсных характеристик систем.

Критерий называют мультиплексным или сепарабельным, если значение соответствующей ему оценки получают как произведение составляющих оценок:

$$W = \prod_{i=1}^{i=n} W_i.$$

Мультиплексными являются критерии, отражающие надежность системы объектов. Надежность ТП в целом, например, по достижению заданного значения доминирующего показателя качества, определяется надежностью технологических операций, в которых данный показатель активно изменяется. В частности, если ТП состоит из трех операций, вероятность достижения заданной точности для которых равна 0,9; 0,95 и 0,8 соответственно, то оценка ТП по критерию «вероятность достижения требуемой точности» составит $0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 0,684$.

При выборе проектных решений желательно, чтобы используемые целевые функции отражали различные стороны объекта проектирования — ожидаемый полезный эффект и затраты. Получить полезный эффект можно минимизируя затратные характеристики. Так, например, повышению полезного эффекта от реализации ТП способствует минимизация трудоемкости изготовления детали. Можно использовать критерий «полезный эффект/затраты» (K_T), например, и в таком виде:

$$K_T = \frac{1}{T_{дП}} \rightarrow \max,$$

где Π — приведенные затраты на реализацию ТП.

При гарантированном обеспечении равного для сравниваемых ТП полезного эффекта (или игнорировании его) данный критерий трансформируется к виду

$$K_3 = \frac{1}{3} \rightarrow \max \text{ или } 3 \rightarrow \min.$$

При этом лицо, принимающее решение, должно осознавать, что применение критериев, характеризующих лишь одну из сторон объекта проектирования, может привести к серьезным ошибкам.

При проектировании ТП постоянно возникает необходимость сравнения и выбора различных объектов по их характеристикам. Для этого можно воспользоваться достаточно простыми частными критериями.

Качество решений, связанных с выбором технологического оборудования, можно оценивать сравнением значений (K_0), определяемых по формуле

$$K_0 = \frac{O_{т.в} O_3}{K_{м-ч}},$$

где $O_{т.в}$ — оценка соответствия технологических возможностей выбираемого оборудования условиям его применения; O_3 — оценка ожидаемой загрузки оборудования; $K_{м-ч}$ — коэффициент машино-часа;

$$O_{т.в} = O_{п.р.п} O_{т.м},$$

где $O_{п.р.п}$ — оценка использования параметров рабочего пространства оборудования; $O_{т.м}$ — интегральная оценка, учитывающая использование технологических методов; возможности обработки поверхностей различных типов; условия реализации технологических методов; возможности обеспечения достижимого качества на данном оборудовании.

Оценку использования параметров рабочего пространства оборудования определяют по формуле

$$O_{п.р.п} = \frac{V_0}{V_C},$$

где V_0 — максимальный объем обрабатываемой заготовки (определяется как произведение габаритных размеров); V_C — максимальный объем рабочего пространства оборудования;

$$O_{т.м} = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^{l=M} \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^{j=m} \prod_{i=1}^{i=l} O_i \right)_j,$$

где M — число технологических методов, которые могут быть реализованы на выбираемом оборудовании; l — порядковый номер метода; m — число типов поверхностей, которые могут быть обработаны на выбираемом оборудовании; j — порядковый номер типа поверхности; i — порядковый номер показателя; I — общее число показателей качества;

$$O_i = \frac{|(\text{ПК}_o)_n - (\text{ПК}_o)_k|_i}{|(\text{ПК}_{\min})_n - (\text{ПК}_{\max})_k|}$$

где ПК_o — значение показателя качества в предполагаемой операции; ПК_{\min} , ПК_{\max} — предельные значения показателей качества, соответствующие данному технологическому методу; n , k — индексы этапа реализации метода (до и после обработки);

$$O_3 = \frac{T_n}{F_d},$$

где T_n — трудоемкость обработки операционной партии заготовок; F_d — действительный годовой фонд рабочего времени оборудования при заданном режиме работы.

Более предпочтительному варианту оборудования соответствует большее значение K_o .

При оценке качества решений, связанных с выбором или проектированием приспособлений ($K_{пр}$), исходят из определения последних как вспомогательных устройств, предназначенных для выполнения операций обработки, сборки и контроля. Приспособление должно обеспечивать экономию вспомогательного (t_v) или штучного ($t_{шт}$) времени. Соответственно:

$$K_{пр} = \frac{1}{t_v Z_n}, \text{ или } K_{пр} = \frac{1}{t_{шт} Z_n},$$

где Z_n — затраты на проектирование и изготовление (приобретение) приспособления. В процессе формирования решения ожидаемые затраты могут определяться по упрощенным методикам.

Качество решения, объектом которого является инструмент, может быть оценено по формуле

$$K_{и} = \frac{T_{и}}{Z_{и}},$$

где $T_{и}$ — стойкость инструмента; $Z_{и}$ — затраты на проектирование и изготовление (приобретение) инструмента.

Значения $T_{и}$ и $Z_{и}$ для сравниваемых вариантов решений (1) и (2) могут быть заданы, например, в относительных единицах. Тогда

$$\frac{K_{и1}}{K_{и2}} = \frac{T_{и1} Z_{и2}}{T_{и2} Z_{и1}}.$$

Значение относительной оценки, большее единицы, указывает на предпочтительность варианта (1) и наоборот.

Качество проектного решения, объектом которого является технологическая операция, может приближенно быть оценено по формуле

$$K_{\text{т.о}} = \frac{\Delta Q}{t_{\text{шт}} Z_{\text{т.о}}},$$

где ΔQ — изменение принятой оценки состояния качества предмета производства в сравниваемой операции; $Z_{\text{т.о}}$ — затраты на выполнение технологической операции:

$$Z_{\text{т.о}} = \frac{t_{\text{шт}} C_0}{K_{\text{в}}},$$

где C_0 — относительная стоимость станкоминуты для сравниваемой операции (определяется по коэффициенту машиночаса); $K_{\text{в}}$ — коэффициент выполнения норм.

Более предпочтительному варианту технологической операции соответствует большее значение $K_{\text{т.о}}$.

При поиске оптимальных проектных технологических решений используют различные методы оптимизации [13].

Линейное программирование применяют, если целевая функция $F(p)$ имеет вид

$$F(p) = c_1 p_1 + c_2 p_2 + \dots + c_n p_n,$$

где c_1, c_2, \dots, c_n — коэффициенты; p_1, p_2, \dots, p_n — параметры объекта оптимизационной задачи.

Общая постановка задачи линейного программирования: определить значения параметров объекта, обеспечивающих минимальное значение целевой функции $F(p)$ при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^{i=n} a_{ik} p_k \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad p_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

К задачам линейного программирования сводят многие задачи параметрической модификации объектов проектирования. Примером такой задачи является определение оптимальных режимов для заданного маршрута обработки элементарной поверхности заготовки, обеспечивающих минимальные затраты на его реализацию. К этому же классу задач сводят задачи оптимизации съема припуска при выполнении технологической операции или сложного (инструментального) перехода, обеспечивая минимум трудоемкости, себестоимости или приведенных затрат.

При оптимизации проектных технологических решений широко применяют методы нелинейного программирования. Многие исследователи считают именно эти методы наиболее эффективными для задач технологического проектирования.

Технологические задачи часто могут быть поставлены как задачи геометрического программирования. Целевые функции ($q(p)$) представляют в виде положительных полиномов (позиномов):

$$g(p) = \sum_{i=1}^{i=n} c_i \prod_{j=1}^{j=q} p_j^{\alpha_{ij}},$$

где c_i и α_{ij} — постоянные, $c_i \geq 0$, $p_j > 0$.

Необходимо определить значения параметров объекта, обеспечивающие минимальное значение целевой функции $g(p)$ при ограничениях:

$$\begin{aligned} g_1(p) &\leq b_1; \\ g_2(p) &\leq b_2; \\ &\dots\dots\dots \\ g_q(p) &\leq b_q. \end{aligned}$$

Зависимости между параметрами при построении моделей технологических операций прямо приводят к функциям типа позиномов.

Для структурно-параметрической оптимизации применяют динамическое программирование.

Динамическое программирование используют при оптимизации многошаговых процессов, описываемых моделями относительно небольшой размерности с целевой функцией аддитивного типа. В основу динамического программирования положен принцип оптимальности (принцип Беллмана). Существует ряд формулировок данного принципа: «оптимальное управление от рассматриваемого момента и далее не зависит от предыстории системы до того времени», или «оптимальное управление в целом интервале оптимально и в его частях».

Пусть дискретный многошаговый процесс описан векторным преобразованием

$$x^{k+1} = p(x^k, u^{k+1}),$$

где x^k — вектор состояния (вектор входа системы); u^{k+1} — вектор управления на k дискретном шаге; p — вектор-функция (переходная функция), заданная аналитически или таблично и определенная для всякого $x^k \in X$ и $u^k \in U$; X, U — области допустимых состояний и управлений соответственно; исходное состояние системы X^0 задано.

Целевая функция (F) является скалярной, ее аргументами являются все состояния системы x^0, \dots, x^k и все управления u^1, \dots, u^k :

$$F = F(x^0, \dots, x^k, u^1, \dots, u^k).$$

Необходимо найти управления u^1, \dots, u^k , которые минимизируют функцию F .

Векторная интерпретация ТП позволяет использовать динамическое программирование фактически в канонической постановке для структурно-параметрической модификации ТП, их фрагментов, а также отдельных технологических операций. В качестве целевых функций используют трудоемкость, себестоимость, затраты на реализацию соответствующего процесса.

Векторы x^k и u^k должны иметь малое число компонентов (2—3). Эффективность использования динамического программирования быстро падает с ростом числа компонентов векторов, так как растет необходимость запоминания значительного количества промежуточных результатов, а также время счета. Определение значений целевых функций F для многошагового процесса эффективно только при автоматизации счета.

При решении дискретных задач оптимизации применяют метод регулярного поиска, целочисленное программирование, а также другие методы достаточно развитого аппарата оптимизации [13].

Контрольные вопросы

1. Что включает в себя математическое обеспечение САПР ТП?
2. Каким требованиям должна удовлетворять математическая модель объекта проектирования?
3. Что такое точность и адекватность математической модели?
4. От чего зависит выбор вида математической модели?
5. Для чего используют структурно-логические модели? Какие виды структурно-логических моделей вы знаете?
6. Что такое детерминированная математическая модель?
7. Чем макромоделли отличаются от микромоделей?
8. Что такое векторная интерпретация ТП? Что такое вектор состояния качества?
9. Как учесть при синтезе ТП закономерности изменения и сохранения свойств предмета производства?
10. Что такое геометрическо-технологическая модель предмета производства?
11. Какие методы плоского и объемного моделирования вы знаете? Чем они различаются?
12. Как выполняют моделирование предмета производства на основе Т-комплексов?
13. Что такое критерий? Какие виды критериев вы знаете?
14. Можно ли свести задачу многокритериальной оптимизации к однокритериальной? Для каких задач оптимизации при проектировании ТП применяют линейное, геометрическое, динамическое программирование?

ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР ТП

5.1. Языки проектирования и программирования в САПР ТП

Лингвистическим обеспечением САПР ТП называют совокупность средств и правил для формализации естественного языка, используемых пользователями и эксплуатационным персоналом САПР ТП при общении с комплексом средств автоматизации при эксплуатации системы. Лингвистическое обеспечение используют для представления и реализации информационного и программного обеспечения.

Основу лингвистического обеспечения САПР ТП составляют специальные языковые средства (языки проектирования и программирования), предназначенные для общения человека с техническими и программными средствами автоматизации в процессе проектирования.

Язык проектирования — язык представления описаний объекта проектирования и их преобразований.

Язык проектирования, применяемый для представления задания на проектирование, называют входным языком проектирования. Выходной язык проектирования предназначен для представления проектного решения, включая результат проектирования, в форме, удовлетворяющей требованиям его дальнейшего применения.

Языки программирования используют для представления описания способа решения задачи в форме конечной последовательности действий для исполнения компьютером.

Машинным (машинным, или объектным, кодом) называют язык программирования, предназначенный для представления программ в форме, позволяющей выполнять их техническими средствами.

Для упрощения и снижения трудоемкости составления компьютерных программ на машинных языках программирования были созданы алгоритмические языки программирования: низкого уровня (Assembler) с операторами, близкими к семантике машинного кода и ориентированными на команды конкретного процессора; и высокого уровня (Fortran; PL/1 и др.) — языки, которые не зависят от конкретных компьютерных архитектур и позволяют программировать алгоритмы решения практически любых задач.

Важность выбора языков при разработке САПР ТП трудно переоценить. Все языковые проблемы не могут быть разрешены введением одного универсального языка проектирования, как правило, мало известного проектировщику и создающего для него психологический барьер при использовании системы. Эффективное использование языков программирования требует специальных знаний и владения современными технологиями программирования. Разработка на их основе специализированных программных комплексов для САПР ТП весьма трудоемка.

Данные обстоятельства привели к необходимости создания специальных, удобных для проектировщика, языков, превращающих систему в собеседника, «понимающего» профессиональный язык проектировщика и «беседующего» с ним на этом языке. В результате были разработаны алгоритмические языки — проблемно-ориентированные языки (ПОЯ), ориентированные на определенные объекты проектирования и проектные процедуры.

Известны два подхода к созданию ПОЯ. В первом из них ПОЯ строят таким образом, что описание любой задачи и задания на ее решение в основном включают оригинальные термины физического и функционального содержания. Переход от описания задачи к компьютерной программе ее решения и непосредственному выполнению на технических средствах осуществляется далее автоматически с помощью соответствующих программных средств — трансляторов и интерпретаторов данного языка.

Транслятор — программный комплекс, автоматически переводящий описание алгоритма решения задачи с алгоритмического языка (исходного языка) в эквивалентную ей программу на результирующем (выходном) языке.

Компилятор — частный случай транслятора — осуществляет перевод исходной программы с алгоритмического языка на машинный.

Интерпретатор отличается от транслятора тем, что он не генерирует результирующую, а сразу же выполняет исходную программу в соответствии с ее смыслом, заданным семантикой исходного языка.

Во втором случае, например, при решении геометрических задач инженерного типа, ПОЯ соединяет в себе средства алгоритмического языка высокого уровня для решения вычислительных математических задач и специальные языковые средства моделирования геометрических объектов. В этом случае используют транслятор или интерпретатор алгоритмического языка высокого уровня, дополненный необходимыми специальными программами.

По сути ПОЯ, хотя и называются языками, на самом деле представляют собой комплекс лингвистических и программных средств. К ПОЯ предъявляются следующие требования:

- наличие набора средств, полностью обеспечивающих решение задач, относящихся к проблемной области языка, в том числе программных модулей, реализующих все базовые функции языка. Этот набор модулей называют библиотекой базовых функций ПОЯ;

- развитие ПОЯ по горизонтали и вертикали. Развитие по горизонтали означает расширение функциональных возможностей языка за счет введения новых базовых функций, описываемых терминами языка, развитие ПОЯ по вертикали связано с переходом к более высокому уровню его организации;

- гибкость ПОЯ, означающая, в частности, возможность использования аббревиатур терминальных символов и символов-синонимов;

- наличие средств автоматического выявления синтаксических ошибок, их отображения и контроля правильности выполнения директив;

- возможность работы с ПОЯ в пакетном и интерактивном (диалоговом) режимах с использованием принципа «умолчания», когда система выбирает дальнейший ход решения по типовой схеме, если пользователь не указывает иной путь (умалчивает свое решение);

- легкая осваиваемость, язык должен включать в себя подсистему обучения, которая информирует пользователя о его неправильных действиях и рекомендует правильные.

Полноценный ПОЯ должен включать в себя набор терминов; интерпретатор с ПОЯ; средства синтаксического анализа; библиотеки базовых функций ПОЯ; средства интерпретирования директив; средства организации режимов макетного ввода-вывода и режима работы пользователя с меню; интерфейс для связи с СУБД; СУБД и база данных предметной области ПОЯ; средства расширения ПОЯ.

Взаимосвязи основных компонентов ПОЯ показаны на рис. 5.1. В двойные рамки взяты компоненты, содержащие различного рода данные, а в простые — компоненты, выполняющие определенные операции с данными.

Набор терминов (терминальных символов) ПОЯ обеспечивает представление (или описание) алгоритма процесса проектирования в символах данного языка, которые должны быть по возможности близки к символам традиционного языка проектировщика.

Интерпретатор с ПОЯ обеспечивает организацию ввода директив ПОЯ, их синтаксического разбора и контроля; выполняет обращения к библиотеке базовых функций языка; формирует и выводит диагностические сообщения в случае обнаружения синтаксических или семантических ошибок; выводит сервисную (обучающую) информацию по запросам пользователей; обеспечивает обращение к программным модулям организации режимов макет-

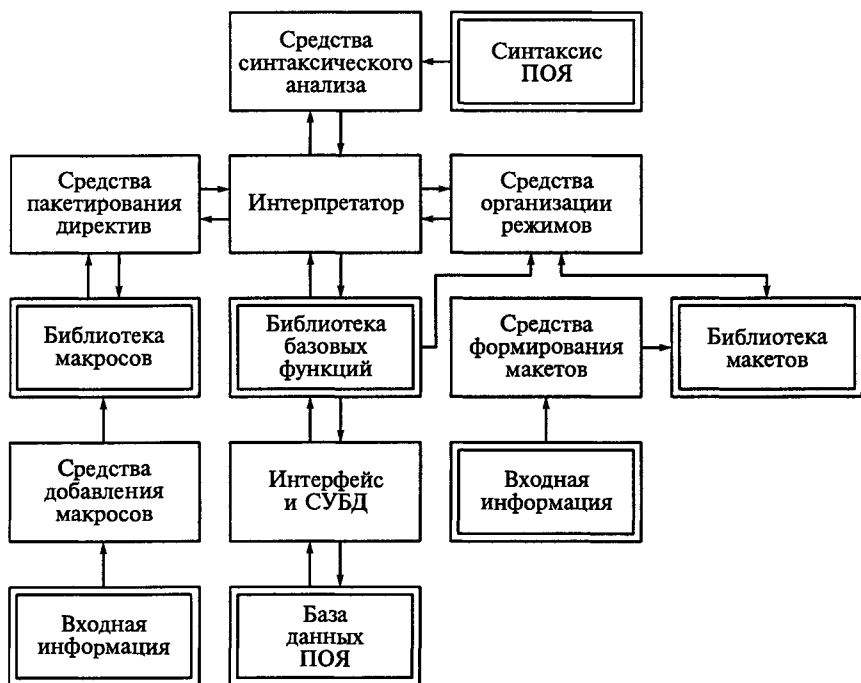


Рис. 5.1. Структура ПОЯ

ного ввода-вывода или меню и к другим возможным программным средствам ПОЯ.

Средства организации режимов обеспечивают взаимодействие проектировщиков с системой в режиме меню или ввода информации в соответствии с разработанными макетами ввода.

Средства синтаксического анализа выполняют лексический разбор текста в символах ПОЯ на основании его синтаксиса; проверяют синтаксическую правильность директив (указаний, предписаний для выполнения); обеспечивают возврат в интерпретатор разобранного текста директивы, кода возврата и диагностических сообщений при обнаружении ошибок.

Библиотека базовых функций реализует семантику данного ПОЯ — обеспечивает преобразование терминов (терминальных символов) в конкретные целенаправленные действия. Включает системную и прикладную части. Системная часть объединяет программы, не зависящие от специфики конкретного ПОЯ (например, программы доступа к базам данных). Прикладную часть определяет проблемная функция данного ПОЯ. Программы из библиотеки базовых функций ПОЯ формируют его предметную область, используя при этом интерфейс по связи с СУБД, СУБД и базу данных о предметной области ПОЯ.

Для решения задачи, записанной на ПОЯ, может быть сформирован набор указаний (директив). Такой набор называют макросом. Макрос может быть представлен одним термином (терминальным символом), воспринимаемым и раскрываемым интерпретатором как указанный набор (последовательность) директив.

Средства пакетирования директив обеспечивают создание и отладку новых директив ПОЯ и макросов с включением их в систему. Средства добавления макросов обеспечивают возможность расширения ПОЯ по вертикали.

Средства организации режимов, меню, а также средства формирования макетов (экранных форм) обеспечивают интерфейс пользователя, через который он взаимодействует с системой. Пользователь формирует на экране терминала ввода-вывода запрос на соответствующем ПОЯ с указанием режима работы (пакетного или диалогового). Ввод необходимых данных в систему обеспечивают путем заполнения выдаваемого системой макета. Получив ответ на директиву, пользователь либо выбирает в представленном меню одно из предлагаемых ему дальнейших действий, либо дает возможность работать системе «по умолчанию». Все переходы из одного режима работы в другой предписывают директивы ПОЯ. При работе в любой момент может быть вызвана сервисная справочная информация (обучающая функция). Вывод справочной информации не влияет на выполнение директив.

Пользователь, при наличии соответствующих полномочий (доступа), с помощью средств пакетирования директив может создавать новые директивы (макросы) и пополнять лексику ПОЯ, одновременно расширяя его возможности.

Возможности ПОЯ имеют исключительно важное значение при автоматизированном проектировании. Они не только непосредственно влияют на производительность и уровень автоматизации проектирования, но и определяют сложность и характер работ пользователей со средствами САПР ТП, могут сделать эти работы более привлекательными и наоборот. Интерфейс пользователя САПР ТП должен быть «дружественным», что в значительной степени определяют возможности ПОЯ. Вопросам разработки эффективных и совершенных языков проектирования надлежит уделять самое серьезное внимание.

Существуют специальные методики и программные средства, облегчающие и значительно сокращающие трудоемкость создания ПОЯ. При разработке визуальных средств ПОЯ может использоваться, например, метасистема, позволяющая на основании заданной формальной грамматики, составленной по определенным требованиям, получать соответствующий синтаксический интерпретатор. Для разработки же программных модулей библиотеки базовых функций могут в принципе применяться любые алгоритмические языки высокого уровня. Создание нового ПОЯ не

представляет чрезмерно сложной задачи, а в будущем станет еще проще. Однако из этого не следует, что надо разрабатывать как можно больше ПОЯ. Излишнее разнообразие ПОЯ препятствует обмену средствами САПР ТП, их интеграции, требует обучения специалистов работе с несколькими языками. Силы специалистов расплывются и отвлекаются на несовершенные разработки вместо объединения их для создания более совершенных средств автоматизации, в том числе ПОЯ.

Использование различных ПОЯ в САПР К и САПР ТП также недостаточно правомерно. Должны использоваться, по крайней мере, одинаковые средства описания самих изделий на стадиях конструирования и проектирования технологии. Для решения задач, не связанных собственно с изделием, например, выбора режущего инструмента и определения режимов обработки в принципе может использоваться специальный ПОЯ.

Проблемы интеграции САПР ТП с другими системами автоматизации поддержки ЖЦИ, а также развития и совершенствования средств автоматизации производственных систем требуют особенно тщательной проработки базового лингвистического обеспечения.

Становление и развитие ПОЯ, составляющих основу лингвистического обеспечения САПР ТП, исторически связано с разрешением проблемы автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Управляющая программа — совокупность перемещений рабочих органов, подготовительных, технологических и вспомогательных команд, обеспечивающих обработку заготовки на станке с ЧПУ. Существует несколько языков, позволяющих сделать информацию приемлемой для системы ЧПУ. В большинстве систем используют код ISO-7bit (ГОСТ 27463—87 «Система обработки информации. 7-битные кодированные наборы символов»).

Управляющая программа представляет собой последовательность предложений, называемых кадрами. Каждый кадр содержит одну или несколько команд по обработке заготовки на станке. Кадры отделяются друг от друга символом «перевод строки». Каждый кадр состоит из слов и начинается со слова, задающего его номер. Здесь под словом понимают соответствующую символьную конструкцию (последовательность символов). Каждое слово соответствует определенной группе команд и параметров. Принят следующий формат кадра управляющей программы: номер кадра — подготовительные команды — геометрические параметры — технологические параметры — вспомогательные команды — «перевод строки».

Подготовка управляющей программы в неавтоматизированном режиме включает в себя собственно проектирование операции, выполняемой на станке с ЧПУ с определением последовательности переходов, параметров применяемого инструмента и режимов обработки; подготовку входной геометрической и технологической

информации к кодированию; кодирование информации и написание текста управляющей программы; занесение управляющей программы на программоноситель (перфолента, магнитный диск); отладку и корректировку программы на холостых ходах и при обработке пробных деталей.

Значительность числа действий (этапов) подготовки управляющей программы, возможность внесения субъективных ошибок и неточностей на каждом из них и, как следствие, высокая трудоемкость и стоимость подготовки управляющих программ в свое время сделали актуальной проблему автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Данная проблема нашла успешное разрешение в создании соответствующего класса средств автоматизации — систем автоматизированного программирования (САП).

Основу любой САП составляет ПОЯ описания номинальных геометрических параметров заготовки в состоянии, соответствующем завершению ее обработки на станке с ЧПУ. Пользователь указывает также модель устройства ЧПУ, параметры применяемого инструмента, режим обработки, желательное направление относительного движения инструмента и заготовки.

На основании данных, введенных в программу, написанную на ПОЯ, САП обеспечит выполнение необходимых промежуточных расчетов траектории относительного движения инструмента и заготовки, автоматическое кодирование геометрической и технологической информации, нанесение управляющей программы на программоноситель. Пользователь получает практически готовую для отладки управляющую программу достаточно высокого качества. Кроме того, он при необходимости имеет возможность вмешаться в процесс подготовки, который может протекать как в пакетном, так и диалоговом режимах. Средства визуализации траектории относительного движения инструмента и заготовки позволяют оптимизировать ее параметры.

Первой проблемно-ориентированной САП была система АРТ, разработанная в 1955 г. в Массачусетском технологическом институте (США) для программирования фрезерных станков. Она предназначалась для того, чтобы инженер мог без всяких вычислительных работ символически описать обрабатываемую заготовку, траекторию движения инструмента относительно обрабатываемой заготовки и все другие виды работ, которые следовало выполнить. Более развитая система АРТ-3 была введена в эксплуатацию в 1961 г. на IBM-7090 и представляла собой ПОЯ программирования для описания 2—5-координатной обработки с запасом около 300 слов.

Программа на языке АРТ-3 состоит из последовательности операторов, каждый из которых предписывает некоторое действие или фиксирует некоторые факторы, например:

- включить охлаждение;
- передвинуть инструмент в точку *PT1*;
- через точки *PT1* и *PT2* провести прямую.

В свою очередь, операторы состоят из слов и специальных символов. Слова выбираются таким образом, чтобы их смысловые значения максимально отражали специфику описываемого процесса. Поэтому для обозначения основных понятий используют слова из области технологии, геометрии, топологии: *TOOL* (инструмент), *DRILL* (сверление), *MILL* (фрезерование), *POINT* (точка), *CIRCLE* (окружность), *ATANGL* (под углом к), *CENTER* (центр), *GROOV* (цилиндр), *AXIS* (ось), *SIDE* (сторона), *INSIDE* (внутренняя сторона), *OUTSIDE* (внешняя сторона), *LEFT* (левая сторона), *RIGHT* (правая сторона), *LINE* (прямая) и т. д.

Положение геометрических элементов относительно выбранной системы координат задают с помощью геометрических выражений. Как правило, геометрическое выражение состоит из управляющего слова, списка параметров и модификатора. При описании геометрические элементы могут задавать в неявной форме относительно некоторых других «базовых» элементов, описанных ранее. Управляющее слово определяет тип описываемого элемента (точка, окружность и др.). Список параметров состоит из нескольких параметров, определяющих как размеры самого геометрического элемента (например, диаметр), так и положение этого элемента относительно описанных ранее элементов. Модификатор используется для уточнения положения описываемого элемента или выбора одного из нескольких возможных вариантов.

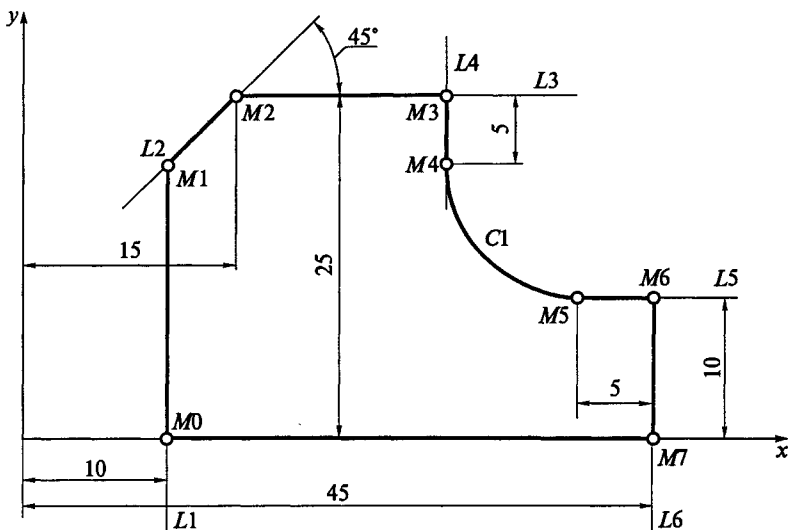
В АРТ-3 содержится около 100 геометрических понятий, из них 10 — для определения точек, 11 — для задания прямых, 10 — для определения окружностей. Кроме того, могут быть заданы плоскости, векторы, эллипсы, гиперболоиды, цилиндры и другие поверхности второго порядка.

Например, геометрически можно задать выражения: *POINT/3, 5; 7, 9* — точка с координатами (3, 5; 7, 9); *CIRCLE/CENTER, PT, RADIUS, 7* — окружность с центром в точке *PT* и радиусом 7 мм.

На рис. 5.2 показан контур детали и его описание на ПОЯ АРТ-3. *M0, ..., M7* — граничные точки контура; *L1, ..., L6* — ограничивающие контур отрезки прямых; *C1* — ограничивающая контур дуга окружности.

Идеи, заложенные в ПОЯ системы АРТ, были применены и развиты в нескольких десятках АРТ-подобных систем: *AUTOSPOT*, *AUTOMAP*, *AUTOPROMT*, *ADAPT*, *SYMAP*, *EXAPT*, *COMPAC* и др.

Первой отечественной системой, использующей ПОЯ была САП-2. Первая версия этой системы была завершена в 1963 г. САП-2 разработана для автоматической подготовки управляющих



```

M0 = POINT/10,0
M2 = POINT/15,25
M3 = POINT/30,25
M4 = POINT/30,20
M5 = POINT/40,10
M6 = POINT/45,10
M7 = POINT/45,0
L1 = LINE/M0, ATANGL, 90
L2 = LINE/M2, ATANGL, 45
L3 = LINE/M2, M3
L4 = LINE/M3, ATANGL, 90
L5 = LINE/M6, ATANGL, 0
C1 = CIRCLE/XLARGE, L5, YLARGE, L4
L6 = LINE/M6, M7

```

Рис. 5.2. Контур детали и его описание на ПОЯ АРТ-3

программ к станкам с ЧПУ для двухкоординатной обработки деталей и допускает переход к плоскостям и параллельным координатам. Система позволяет программировать детали с контурами обработки, состоящими из отрезков прямых и дуг окружностей, выбрать точность их аппроксимации, определять скорости подачи и радиус рабочего инструмента. Процессор системы САП-2 осуществляет перекодировку языковой программы, производит преобразование геометрической информации в стандартную математическую форму, осуществляет расчет параметров траектории движения центра режущего инструмента с учетом технологических особенностей обработки детали и формирует кадры для интерполатора.

Разработано значительное число отечественных систем различного назначения, каждая из которых использует собственный ПОЯ (СПС-ТАУ, СППС, ТЕХТРАН и др.).

На рис. 5.3 показан эскиз детали, подготовленный для программирования в системе ТЕХТРАН, текст программы на ПОЯ ТЕХТРАН приведен в табл. 5.1.

В САПР технологических операций были использованы, в основном, те же принципы построения ПОЯ, но с расширением их функций. Рассматриваемые системы обеспечивают на основании описания геометрическо-технологических параметров заготовки до и после обработки:

проектирование технологической операции, включая определение числа и последовательности переходов, выбор инструмента, определение стратегии съема припуска и режимов обработки; автоматизированную подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ (функции САП).

Основной режим работы современных САПР технологических операций — диалоговый и ПОЯ обеспечивает описание геометрич-

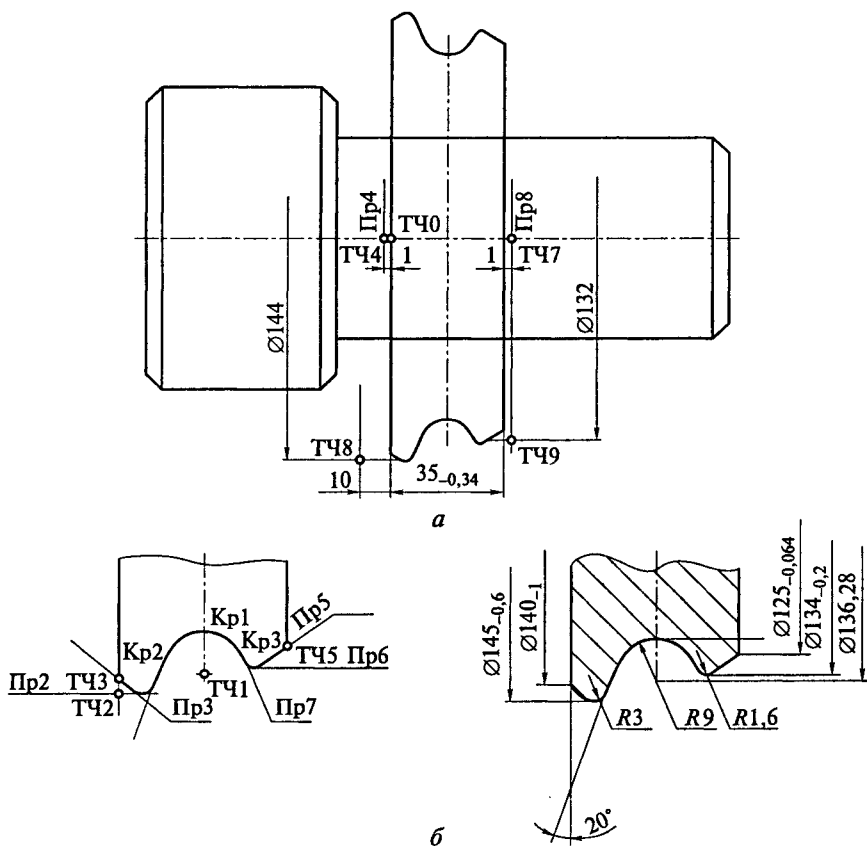


Рис. 5.3. Эскиз детали-ролика (а) и его профильной части (б), подготовленный для программирования в системе ТЕХТРАН

Таблица 5.1. Текст программы обработки

Строка			Адреса и												
0	1	0	Д	Е	Т	А	Л	Ь		Р	О	Л	И	К	
0	2	0	С	Т	А	Н	О	К		1	6	К	2	0	Ф
0	3	0	П	Е	Ч		Т	Е	К	С	Т		В	С	Е
0	4	0	Ч	Е	Р	Т	Е	Ж		В	К	Л			
0	5	0	П	Е	Р	О	В	Н							
0	6	0	Т	Ч	0	=	0	,	0						
0	7	0	Т	Ч	1	=	-	1	7	.	4	2	,	-	6
0	8	0	К	Р	1	=	Т	Ч	1	,	9				
0	9	0	П	Р	1	=	К	Р	1	,	Х	Б	,	-	7
1	0	0	Т	Ч	2	=	0	,	-	7	2	.	3	5	
1	1	0	П	Р	2	=	Т	Ч	2	,	0				
1	2	0	К	Р	2	=	Х	Б	,	П	Р	1	,	У	Б
1	3	0	Т	Ч	3	=	0	,	-	6	9	.	7	5	
1	4	0	П	Р	3	=	Т	Ч	3	,	С	Л	Е	В	А
1	5	0	Т	Ч	4	=	1	,	0						
1	6	0	П	Р	4	=	Т	Ч	4	,	9	0			
1	7	0	Т	Ч	5	=	-	3	4	.	8	3	,	-	6
1	8	0	П	Р	5	=	Т	Ч	5	.	-	3	5		
1	9	0	Т	Ч	6	=	-	3	4	.	8	3	,	-	6
2	0	0	П	Р	6	=	Т	Ч	6	,	0				
2	1	0	К	Р	3	=	У	Б	,	П	Р	5	,	У	Б
2	2	0	П	Р	7	=	С	П	Р	А	В	А	,	К	Р
2	3	0	Т	Ч	7	=	-	3	5	.	8	3	,	0	
2	4	0	П	Р	8	=	Т	Ч	7	,	9	0			
2	5	0	Т	Ч	8	=	1	0	,	-	7	2			
2	6	0	Т	Ч	9	=	-	3	5	.	8	3	,	-	6

Строка			Адреса и												
2	7	0	И	Н	С	Т	Р		1	7					
2	8	0	М	Е	Т	О	Д		Л	И	Н	К	Р	У	Г
2	9	0	И	З		Т	Ч	8							
3	0	0	Ш	П	И	Н	Д	Л		2	0	0	,	П	Р
3	1	0	П	О	Д	А	Ч	А		М	М	И	Н		6
3	2	0	И	Д	И		Д	О		П	Р	3		Д	О
3	3	0	К	О	Р	Р	Е	К		В	К	Л		Х	К
3	4	0	О	Х	Л	А	Д		В	К	Л				
3	5	0	П	О	Д	А	Ч	А		М	М	И	Н		8
3	6	0	В	Л	Е	В	О		П	Р	3		К	А	С
3	7	0	В	П	Е	Р	Е	Д		К	Р	2		К	А
3	8	0	В	П	Е	Р	Е	Д		П	Р	1		К	А
3	9	0	В	П	Е	Р	Е	Д		К	Р	1		К	А
4	0	0	В	П	Е	Р	Е	Д		П	Р	7		К	А
4	1	0	В	П	Е	Р	Е	Д		К	Р	3		К	А
4	2	0	В	П	Е	Р	Е	Д		П	Р	5		З	А
4	3	0	П	О	Д	А	Ч	А		М	М	И	Н		6
4	4	0	В		Т	О	Ч	К	У		Т	Ч	9		
4	5	0	Б	Ы	С	Т	Р	О							
4	6	0	П	Д	Г	О	У	Н		2	5				
4	7	0	О	Х	Л	А	Д		В	Ы	К	Л			
4	8	0	К	О	Н	Е	Ц								

замечания

Ч	С																		
0	0																		
	П	Р	4																
О	О	Р	Д	,	3	У	К	О	О	Р	Д	,	3						
0																			
	К	Р	2																
С		П	Р	1															
С		К	Р	1															
С		П	Р	7															
С		К	Р	3															
С		П	Р	5															
	П	Р	8																
0	0																		

ческо-технологических параметров предмета производства и условий выполнения операций, а также поддержку режима диалога пользователя с системой.

Возможности современных ПОЯ позволяют создание объемных моделей предмета производства за счет использования описываемых в терминах языка процедур, например, контактно-плоскостного и взаимопроникающего соединения элементарных тел.

С целью унификации ПОЯ, используемых в отечественных САПР ТП, в начале 80-х гг. XX в. был разработан стандарт «Входной язык для технологического проектирования. Язык описания детали». Он устанавливал общие правила построения языка описания информации о детали, как элемента входного языка САПР ТП. В соответствии с этим стандартом полное формализованное описание детали включало данные для ее идентификации, общие данные о ней, описание базовых структурных элементов детали и формообразующих, размерных и точностных связей. К общим сведениям о детали относили ее габаритные размеры, обозначение материала и его физико-механических свойств, а также специальные указания. Информация о базовых структурных элементах детали включала совокупность параметров, однозначно определяющих форму, размеры, шероховатость и отклонение от правильной геометрической формы каждой поверхности, а также ее физико-механические свойства. Описание формы производного элемента и детали как единого целого выполнялось с использованием отношений: «соединение», «отсечение» и «пересечение». Размерные связи между элементами задавались линейными, угловыми или смешанными размерными цепями в системе координат детали. Развитие методологии автоматизированного технологического проектирования, совершенствование технических и программных средств САПР ТП сделали малоактуальными методические подходы, регламентированные упомянутым стандартом.

В современных САПР ТП и интегрированных САПР применяют, как правило, ПОЯ оригинальной разработки, наиболее соответствующие, по мнению разработчиков, общей концепции построения конкретной системы.

Частной разновидностью ПОЯ признаются языки программирования баз данных. Большинство современных СУБД, преимущественно реляционных, применяемых в САПР ТП, взаимодействуют с базами данных на языке SQL.

SQL является языком программирования высокого уровня и характеризуется использованием при написании программ знаковой системы, близкой к естественным человеческим языкам. Идея такого языка сводилась к набору из нескольких фраз-примитивов английского языка («выбрать», «обновить», «вставить», «удалить» и т.д.), через которые пользователь — не программист ставил бы вопросы к СУБД по своим информационным потребностям. В этом

случае дополнительной функцией СУБД должна быть интерпретация этих «вопросов» на низкоуровневый язык машинных кодов для непосредственной обработки данных и представления результатов пользователю.

SQL изначально развивался как декларативный язык программирования, используемый для выражения определений. Впоследствии стандарт SQL воспринял тенденцию описания формальных действий, процедур, а равно объектно-ориентированной парадигмы и был дополнен (последняя модификация стандарта SQL:2003) за счет новых типов данных, операторов и функций.

В профессиональных СУБД язык базы данных часто дополняется элементами, заимствованными из универсальных алгоритмических языков программирования, например, библиотеками функций языка C++. Свои модификации языка SQL имеют практически все развитые профессиональные СУБД — Oracle, SyBase, Informix, Ingres, DB2, отечественная СУБД ЛИНТЕР. SQL-программы, подготовленные для разных СУБД, как правило, несовместимы друг с другом.

Наметилась тенденция встраивания развитых языков программирования высокого уровня и в СУБД для конечных пользователей (настольные СУБД). В качестве примера можно привести СУБД Access фирмы Microsoft, имеющий один из наиболее развитых интерфейсов по созданию и работе с базами данных для конечных пользователей. При этом в системе наличествует встроенный язык VBA (Visual Basic for Application), являющийся диалектом языка Visual Basic.

При разработке САПР ТП используют как процедурный, так и декларативный подходы.

Декларативный подход применяют, например, при определении основных понятий предметной области автоматизированной системы и установления связей между объектами, определяемыми этими понятиями, в экспертных компонентах САПР ТП.

Современные языки программирования высокого уровня (Object Pascal, C++ и др.) являются процедурно-декларативными. С их помощью можно решать любые задачи программирования, используя как процедурный, так и декларативный подходы.

Распространенными средами программирования для создания САПР ТП в настоящее время являются системы Visual C++, C++ Builder и т. д.

5.2. Программное обеспечение САПР ТП

Программное обеспечение САПР ТП — совокупность программ на носителях данных и программных документов, предназначенных для ее отладки, эксплуатации и проверки работоспособности.

Программное обеспечение включает все программы и эксплуатационную документацию к ним, необходимые для автоматизированного проектирования ТП.

Программой называют данные, предназначенные для управления конкретными компонентами САПР ТП, реализующие определенный алгоритм.

Физически в состав программного обеспечения входят документы с текстами программ; программы, записанные на машинных носителях информации; эксплуатационные документы. Программы и документы предназначены для всех средств вычислительной техники, эксплуатирующейся в составе САПР ТП. Составляющие программного обеспечения САПР, а также требования к его разработке и документированию регламентированы ГОСТ 23501.101—87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения».

Различают системное и прикладное (специализированное) программное обеспечение. Системной называют программу, предназначенную для поддержания работоспособности системы обработки информации или повышения эффективности ее использования. Системное программное обеспечение содержит набор программных средств, способствующих повышению эффективности использования вычислительных комплексов САПР ТП и производительности труда персонала, обслуживающего эти комплексы.

К основным функциям системного программного обеспечения относят:

- управление процессом вычислений;
- ввод, вывод и частично обработка информации;
- диалоговая взаимосвязь с пользователем в процессе проектирования;
- решение общематематических задач;
- хранение, поиск, сортировка и модификация данных, необходимых при проектировании, защита их целостности и защита от несанкционированного доступа;
- контроль и диагностика вычислительного комплекса.

Три первых и последнюю из указанных функций реализуют в современных вычислительных комплексах операционные системы.

Операционная система — совокупность программ, управляющих ходом выполнения рабочих программ и использованием всех ресурсов вычислительного комплекса.

Для решения общематематических задач (например, решения алгебраических или дифференциальных уравнений, преобразования матриц, задач оптимизации и т. д.) в состав системного программного обеспечения включают соответствующие библиотеки стандартных программ. Для хранения и использования различных данных применяют СУБД.

Прикладное (специализированное) программное обеспечение включает прикладные программы и пакеты прикладных программ, основной функцией которых является формирование проектных решений. Прикладной называют программу, предназначенную для решения задачи или класса задач, в определенной области применения системы обработки информации.

Систему прикладных программ, предназначенную для решения задач определенного класса называют пакетом прикладных программ.

В САПР ТП пакеты прикладных программ, как правило, применяют для выполнения конкретных проектных процедур, например, выбора оборудования, инструмента; определения режимов обработки и т.д. Прикладное программное обеспечение создают с учетом возможностей системного.

В целом состав и структура программного обеспечения определяются составом и структурой САПР ТП и ее подсистем. Программное обеспечение — столь же важное и необходимое средство автоматизации проектирования как и технические (аппаратные) средства (вычислительная техника, сетевое и периферийное оборудование). Однако, в отличие от технических средств, являющихся универсальным инструментарием, используемым в одинаковом или почти одинаковом составе в различных видах САПР, прикладное программное обеспечение является оригинальным инструментом автоматизации и отражает всю специфику конкретной системы.

При создании программного обеспечения САПР ТП учитывают факторы, влияющие на выбор структуры и эффективность системы в целом: стоимость разработки и развития в процессе эксплуатации программного обеспечения САПР ТП; параметры технического комплекса САПР ТП и системного программного обеспечения; круг пользователей САПР ТП и др. Учитывают требования адаптируемости компонентов программного обеспечения к различным конфигурациям компьютеров и их операционным системам; расширение и обновление; обеспечение контроля и диагностики; обеспечение различных режимов работы системы.

Программное обеспечение — основной и по значимости, и по трудоемкости разработки объект при создании САПР ТП. Большое значение для организации эффективной работы и определения возможностей, предоставленных вычислительным комплексом пользователю, имеет операционная система.

Операционные системы обеспечивают высокий уровень производительности вычислительного комплекса, позволяя программисту:

- делить задачу на части, кодировать каждую часть на языке, наиболее для нее подходящем, и затем объединить их в готовую к выполнению программу;

- делить большую программу на секции с тем, чтобы уменьшить потребность в основной памяти;
- автоматизировать процесс отладки программ;
- помещать готовые к выполнению программы в системную библиотеку и получать доступ к этим программам с помощью символических запросов;
- выполнять программу непосредственно после ее трансляции либо запоминать результат трансляции;
- использовать стандартные процедуры ввода-вывода для работы с данными.

Основными компонентами операционных систем являются управляющие и обрабатывающие программы, а также сервисные (обеспечивающие и тестово-диагностические) программы (рис. 5.4).

Управляющие программы реализуют функции управления заданиями, ходом выполнения программ и данными. Они следят за выполнением обрабатывающих и прикладных программ, составленных пользователем. В состав управляющих программ входят программы управления:

- задачами (супервизор), управляет всем ходом вычислительного процесса;
- заданиями, подготавливает систему для выполнения пакета заданий;
- данными, осуществляет передачу данных между основной памятью и внешними устройствами;
- восстановлением системы, используется при переходе системы от одних режимов работы к другим.

Управляющие программы осуществляют первоначальную загрузку оперативной памяти и управление всей работой системы.

К обрабатывающим программам относят трансляторы с алгоритмических языков (Object Pascal, C++ и др.).

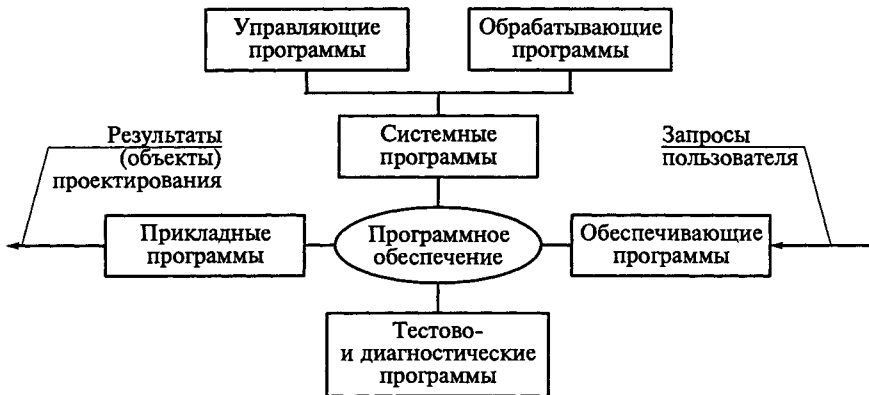


Рис. 5.4. Структура программного обеспечения САПР ТП

В операционной системе программа, написанная на алгоритмическом языке, транслируется в объектный модуль, поэтому специфика исходного языка программирования после трансляции теряется. Для того чтобы получить программу, готовую к выполнению, объектный модуль должен быть обработан редактором связей. Результат работы редактора связей называется абсолютным, или загрузочным модулем. Загрузочный модуль может собираться из независимо протранслированных частей (объектных модулей) и подпрограмм, хранящихся в библиотеках.

Операционная система содержит следующие сервисные программы: редактор связей — обеспечивает получение программы, готовой к исполнению компьютером; сортировка-объединение (библиотекарь) — обеспечивает корректировку и обслуживание библиотек системы; программы проверки внешних устройств, копирования информации с носителя на носитель, перегруппировки и упорядочения записи, составления отчетов на ПОЯ и др.

Операционная система имеет модульную структуру, позволяющую приспособлять ее к конкретным конфигурациям технических средств в САПР ТП. Отдельные программные компоненты операционной системы, а также конкретные функции управляющей программы могут включаться в систему по желанию пользователя. Процесс создания конкретной структуры операционной системы, учитывающей особенности технических средств и задач пользователя, называют генерацией системы. Средства генерации системы представляют собой совокупность программы и правил, позволяющих пользователю сгенерировать операционную систему для своих конкретных целей.

Наиболее распространенными семействами современных операционных систем являются Windows, Windows NT, UNIX/Linux.

Семейство Windows представляет распространенные пользовательские операционные системы (Windows 95/98/ME). Они сочетают в себе удобство, простоту и скорость работы. Вместе с тем надежность этих операционных систем не всегда удовлетворительна, что недопустимо при эксплуатации программных комплексов промышленного назначения, реализуемых на их основе. В связи с этим указанные операционные системы постепенно вытесняются системами других семейств.

Операционные системы Windows NT сочетают в себе удобство и простоту использования Windows и стабильность серверных операционных систем. Представителями этого семейства являются Windows NT 4.0, Windows 2000, Windows XP, Windows NET Server.

Существуют и различные версии операционных систем. В частности, Windows XP выпущена в нескольких модификациях, например, Windows XP Home Edition, Windows XP Professional и Windows XP 64-Bit Edition. Windows XP Home предназначена для пользователей Windows 2000 или Windows NT. Хотя Windows XP

Home Edition и Windows XP Professional базируются на одном и том же ядре, ориентированная на применение в сфере бизнеса Windows XP Professional обладает более расширенной функциональностью и надежностью.

UNIX — одна из наиболее старых, и тем не менее, очень производительная и надежная система. Для персональных компьютеров используют ее варианты Linux, FreeBSD, OpenBSD, которые становятся все более популярными благодаря традиционной для UNIX скорости и отказоустойчивости, а также дешевизне и открытости исходных текстов программ, составляющих систему. Варианты UNIX применяются чаще всего для больших машин, серверов, и популярны среди системных администраторов и разработчиков программного обеспечения.

Как и любая другая программа, операционная система, написанная для одной аппаратной платформы компьютера, не может быть непосредственно запущена на компьютере аппаратно несовместимой платформы. Программа, разработанная для операционной системы одного семейства, довольно часто не может быть непосредственно запущена в операционной системе другого семейства. Операционные системы программно совместимы в общем случае лишь частично.

Пакеты прикладных программ САПР ТП реализуются как надстройка над операционной системой. Основу пакета составляет конечное множество программных модулей, каждый из которых является узкоспециализированной программой некоторого алгоритма или даже его фрагмента. При этом легко проследить следующую аналогию процедур проектирования и программирования:

Проектирование объекта	Программирование
Структурное описание объекта	Структуры алгоритма
Логическое описание объекта	Структурная схема программы
Детальное описание	Программа
Техническое решение	Программное решение
Проверка	Отладка
Состав компонентов	Алгоритмический язык
Компонент объекта	Оператор языка
Методы решения инженерных задач	Методы программирования
Технология проектирования	Технология программирования

Из множества программных модулей выделяется подмножество управляющих модулей, составляющих универсальный или специализированный монитор САПР ТП. Программа-монитор САПР ТП организует вычислительный процесс в соответствии с принятым алгоритмом управления.

Применяют два способа организации вычислительного процесса в САПР ТП:

- описание пользователем алгоритма решения прикладной задачи проектирования с помощью специальных языковых средств;
- наличие в САПР ТП средств автоматизированной или автоматической генерации цепочки программных модулей, соответствующей алгоритму решения выбранной прикладной задачи.

При проблемной ориентации САПР ТП проектировщику необходимо определить лишь исходные данные, задать вид их обработки и указать форму представления результатов. Для обеспечения этих функций в состав системы должны быть включены: входной язык и транслятор с него, прикладные программы проектирования заданного объекта, программы обработки и вывода результатов в форме, удобной и привычной проектировщику — пользователю САПР. Широта круга пользователей является следствием доступности САПР, которая, главным образом, зависит от возможностей языка взаимодействия (его связи с «профессиональным» языком пользователя), легкости организации вычислительного процесса, наличия вспомогательных сервисных операций, автоматизирующих процедуры накопления и редактирования библиотек.

Одним из направлений современного развития САПР и, в частности, САПР ТП является создание специализированных программно-технических комплексов, предназначенных для автоматизированной деятельности определенного вида, например, АРМ. Программное обеспечение АРМ, в особенности, его прикладная часть определяется специализацией АРМ, т. е. видом той деятельности, которой на данном рабочем месте будет заниматься пользователь.

Прикладное программное обеспечение АРМ технолога, как правило, включает средства обработки и визуализации текстовой и графической информации, в том числе средства плоского и объемного моделирования предмета производства, а также средства формирования и использования необходимых баз данных с соответствующими СУБД.

С углублением автоматизации процесса технологического проектирования сложность и трудоемкость разработки программного обеспечения САПР ТП непрерывно растут. Для уменьшения трудоемкости программирования и повышения качества и производительности труда программистов разработаны технологии программирования, как комплекса специальных средств и методов. Используют алгоритмические языки, упрощающие запись программ и позволяющие автоматизировать процесс их отладки. Применяют специальные среды и средства автоматизации программирования.

Среда программирования — интегрированная система подготовки программ, в которой все использующиеся для этого программные средства имеют единый пользовательский интерфейс, общую базу данных и не требуют специального вызова.

Средствами автоматизации программирования называют комплекс языков программирования и программных средств, обеспечивающих автоматизацию разработки и отладки программ. К этим средствам относят трансляторы, интерпретаторы, редакторы связей, библиотеку программ, сервисные программы, средства работы с символьными библиотеками (отладчики, текстовые редакторы, архиваторы и т. д.).

Наиболее известны следующие технологии программирования: модульное, структурное, программирование «сверху вниз», программирование на основе специальных диаграмм, объектно-ориентированное программирование.

Модульное программирование предусматривает разделение программы на функциональные модули. Каждый модуль оформляется как самостоятельная программная единица, способная решать возложенные на нее задачи, выполняя при этом соответствующие функции. Модульное представление программ облегчает их отладку и особенно удобно при необходимости модернизации программного обеспечения, так как оно позволяет изменять только часть программы, нуждающуюся в модернизации, т. е. отдельный программный модуль (или группу модулей). Программное обеспечение большинства современных САПР построено по модульному принципу. Модульное программирование существенно сокращает время разработки сложных программных комплексов, так как создание отдельных модулей может быть поручено разным группам программистов, работающих одновременно.

Структурное программирование основано на применении ограниченного ряда структур построения программ, например, линейной, циклической, структуры выбора и т. д. Основная идея структурного программирования заключается в том, что структура программы должна отражать структуру решаемой задачи, чтобы алгоритм решения был ясно виден из исходного текста. Структурные программы имеют четкую древовидную архитектуру, легко читаются и модифицируются. Облегчена проверка правильности формирования программного обеспечения, сокращается время на подготовку и отладку программы.

Основой программирования «сверху вниз» является многоуровневое написание программ. На верхнем уровне в первую очередь формируют исходный алгоритм в виде соответствующей вычислительной схемы, элементы которой описывают на естественном для данной проблемы языке. Далее выполняют написание для элементов каждого уровня алгоритмической схемы «сверху вниз». Каждый последующий уровень отлаживают на тестах, полученных из предыдущего уровня. В отличие от обычного программирования по блок-схемам каждый уровень оформляют как законченную программу и могут отлаживать до окончательной разработки алгоритма. Эта технология сокращает общую продолжительность решения

задачи за счет выполнения работ по программированию параллельно с разработкой алгоритма. По ходу работ возможна и корректировка последнего.

Программирование на основе специальных диаграмм — HIPO-технология (Hierarchical Input Process Output Diagrams) обеспечивает многоуровневое составление и документирование программного обеспечения. Применяют три типа диаграмм. Диаграммы первого типа — вспомогательные — предназначены для окончательного оформления документации на программное обеспечение. Диаграммы второго типа задают связи и правила сборки диаграмм третьего типа, содержащих собственно процедуры обработки информации. Во всех диаграммах выделяют три части (колонки): для записи входной информации и описания процесса преобразования информации. Главным достоинством этой технологии программирования является явное описание всей информации, связанной с процессом создания программного обеспечения.

Объектно-ориентированное программирование — современная методология программирования, основанная на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является реализацией определенного класса, а классы образуют иерархию на принципах наследуемости.

Объект обладает состоянием, поведением и индивидуальностью. Структура и поведение схожих объектов определяют общий для них класс. Термины «экземпляр класса» и «объект» взаимозаменяемы. Состояние объекта характеризуется перечнем всех возможных (обычно статических) свойств данного объекта и текущими значениями (обычно динамическими) каждого из этих свойств. Поведение характеризует то, как объект воздействует или подвергается воздействию других объектов с точки зрения изменения состояния этих объектов и передачи сообщений. Индивидуальностью называют свойства объекта, которые отличают его от всех других объектов.

Класс обозначает множество объектов, имеющих общую структуру и общее поведение. Объектные и объектно-ориентированные языки программирования (Object Pascal, C++, Java и др.) реализуют в разных комбинациях следующие механизмы отношения классов: наследование; использование; представление; метаклассы.

Наследование — отношение между классами, когда один класс повторяет структуру и поведение другого (простое наследование) или других (множественное наследование) классов. Класс, структура и поведение которого наследуется, называют суперклассом.

Методология объектно-ориентированного программирования, использование объектно-ориентированных языков позволяют значительно ускорить создание больших промышленных программных систем [14].

В последнее время широкое распространение получил визуальный подход к программированию. Все необходимые элементы оформ-

ления и управления создаются и обслуживаются не путем ручного программирования, а с помощью готовых визуальных компонентов. Этот процесс автоматизирован в средах быстрого проектирования (Rapid Application Development, RAD-среды). Весь вспомогательный исходный код среда генерирует сама, позволяя программисту сосредоточиться только на реализации алгоритма.

В рассмотренных и в других (менее распространенных) технологиях программирования большое внимание уделено документированию этапов и результатов программирования. Это объясняется тем, что программные средства стали программным продуктом и могут использоваться без привлечения их разработчиков только при условии их тщательного документирования.

Программным называют документ, содержащий в зависимости от назначения данные, необходимые для разработки, производства, эксплуатации и сопровождения программы или программного средства. Основными видами программных документов являются спецификация, ведомость держателей подлинников, текст программы, описание программы, методика и программа испытаний, техническое задание, пояснительная записка и эксплуатационные документы.

Программным средством называют комплекс программ на носителе данных и соответствующей документации, а также данных, предназначенных для поставки пользователю.

Программное средство, предназначенное для поставки, передачи, продажи пользователю, называют программным продуктом. Рынок программных продуктов является одним из наиболее динамично развивающихся рынков. Программное обеспечение САПР ТП с соответствующей документацией также является программным продуктом, занимающим на этом рынке свою устойчивую «нишу».

Контрольные вопросы

1. Что называют лингвистическим обеспечением САПР ТП и для чего его используют?
2. Что такое язык проектирования? Чем входной язык проектирования отличается от выходного?
3. Что называют ПОЯ?
4. Что называют машинным языком?
5. Какие подходы к созданию ПОЯ вы знаете? Поясните их сущность.
6. Какие основные требования предъявляют к ПОЯ?
7. Что включает в себя ПОЯ? Как взаимодействуют его компоненты?
8. Для чего используют ПОЯ в системах автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ?
9. Что такое язык описания детали в САПР ТП? Что включает полное формализованное описание детали?
10. Что называют процедурным, декларативным, объектно-ориентированными языками программирования?

11. Что называют программным обеспечением САПР ТП? Что оно включает в себя?

12. Из каких частей состоит программное обеспечение САПР ТП? Что включает и для чего используется каждая часть?

13. Что такое прикладная программа, пакет прикладных программ? Для чего их применяют в САПР ТП?

14. Что такое операционная система? Как возможности САПР ТП связаны с возможностями операционной системы?

15. Что называют программным документом, средством, продуктом?

6.1. Технические средства САПР ТП

Совокупность всех технических средств, используемых при эксплуатации САПР ТП, образует техническое обеспечение системы.

Компонентами технического обеспечения являются устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных, измерительные и другие устройства или их сочетания, обеспечивающие функционирование САПР ТП. Компоненты должны создаваться на базе серийных средств вычислительной техники общего назначения и других современных технических средств.

Основой технического обеспечения большинства современных САПР ТП являются универсальные или специализированные персональные компьютеры. Спектр персональных компьютеров, используемых в САПР ТП, по конфигурации, техническим возможностям и выполняемым в составе САПР ТП функциям весьма широк.

Основной современной формой организации работы САПР ТП является сетевая форма (см. рис. 2.3). Как правило, персональный компьютер образует основу технического обеспечения соответствующего АРМ.

Автоматизированное рабочее место пользователя САПР ТП — технолога чаще всего создают на базе универсальных персональных компьютеров достаточной мощности, конфигурация которых может быть ориентирована на решение определенного круга технологических задач. Такие компьютеры, как правило, являются настольными (стационарными) и включают процессорный блок, монитор для отображения графической и текстовой информации, клавиатуру и мышь.

Администрация САПР ТП и руководство технологических подразделений предприятий часто используют на своих рабочих местах высокопроизводительные мобильные компьютеры (ноутбуки), в которых процессорный блок, монитор и клавиатура выполнены в едином, удобном для перемещения, корпусе. Такие компьютеры могут эксплуатироваться и в сети системы и автономно как на стационарном месте, так, например, и во время движения.

Сервером называют компьютер, способный обслуживать другие компьютеры, подсоединенные к нему. Обычно сервер представляют как некоторую, отличную от персональных, модель компьютера или же как вычислительную систему повышенной мощности. Функции сервера разнообразны, однако важнейшей из них для САПР ТП является функция файл-сервера.

Файл-сервер имеет диски памяти большой емкости, к которым могут иметь доступ все компьютеры в сети. Преимущества такой схемы заключаются в том, что информация хранится централизованно, а не распределена по компьютерам разных сотрудников, она доступна с любого компьютера, подключенного к серверу (а это могут быть и удаленные компьютеры, которые связывают с сервером по телефону), и может быть защищена от доступа, поскольку для подключения к серверу требуется аутентификация (подтверждение права пользователя на доступ к информации). Еще одним немаловажным достоинством сервера является высокая надежность хранения информации, так как серверы защищены от сбоев и иных неполадок. Даже в случае полного выхода из строя какого-либо из дисков сервера существуют методы полного восстановления информации, к тому же это будет совершенно незаметно для работающих с сервером.

Для выполнения задач технологического проектирования, поддержки СУБД, управления производственными ресурсами применяют мощные многопроцессорные серверы.

Для трехмерного моделирования сложных объектов применяют мощные двухпроцессорные графические станции, представляющие собой специализированные компьютерные системы, включаемые в состав технического обеспечения САПР ТП.

Основным элементом персонального компьютера является процессор. Важнейшими характеристиками современных процессоров персональных компьютеров являются платформа, разрядность, частота, объем памяти процессора (кэш), шина, энергопотребление и цена.

На современном рынке процессоров доминируют два основных производителя процессоров для персональных компьютеров — фирмы Intel и AMD. В табл. 6.1 указаны сравнительные характеристики некоторых семейств процессоров соответствующих платформ.

Научно-технический прогресс вызывает непрерывное изменение как состава семейств процессоров, так и их характеристик. Процессоры непрерывно совершенствуются. Приведенные в табл. 6.1 характеристики процессоров соответствуют концу 2005 г.

Наиболее популярным и практичным на сегодняшний день процессором для персональных компьютеров является процессор Intel Pentium 4 530. Процессор Intel Pentium 4 520 создан на том же ядре, но работающем на меньшей тактовой частоте.

Таблица 6.1. Сравнительные характеристики некоторых семейств процессоров платформ AMD и Intel

Платформа AMD				
Семейство	Модель	Частота, МГц	Кэш, Кбайт	Шина, МГц
AthlonXP	2500+	1 833	512	166*2
AthlonXP	2700+	2 167	256	166*2
Sempron	2800+	2 000	256	166*2
Athlon64	2800+	1 800	512	200*4
Athlon64	3000+	2 000	512	200*4

Окончание табл. 6.1

Платформа Intel				
Семейство	Модель	Частота, МГц	Кэш, Кбайт	Шина, МГц
Pentium 4	2400	2 400	512	200*4
Pentium 4	3000	3 000	512	200*4
Pentium 4	3000	3 000	1 024	200*4
Pentium 4	520	2 800	1 024	200*4
Pentium 4	530	3 000	1 024	200*4

Одним из самых производительных и перспективных процессоров от AMD является процессор AMD Athlon 64 3000+, Socket 939, обладающий двухканальным контроллером памяти. Возможно изменение частоты данного процессора в зависимости от нагрузки, при этом снижается энергопотребление и, соответственно, тепловыделение в момент простоя и низкой загрузки.

При выборе и конфигурировании персональных компьютеров для эксплуатации в составе САПР ТП основными приоритетами являются большой запас по производительности, возможности расширения и отсутствие комплектующих, требующих частой замены. Это позволит без дополнительных затрат увеличивать производительность подсистем оперативной и постоянной памяти. Мощность процессора играет при этом одну из главных ролей. Вложенные в приобретение персонального компьютера САПР ТП средства должны полностью окупиться за период его эксплуатации (обычно 2—3 года) до морального износа.

Объем постоянной памяти персонального компьютера определяется объемом жесткого диска. Увеличение последнего связано с увеличением его стоимости, однако при этом удельная стоимость единицы объема памяти в целом снижается.

Существуют широкие возможности как для приобретения персональных компьютеров, ориентированных для применения в САПР ТП, так и для конфигурирования компьютеров в соответствии с кругом решаемых задач проектирования.

В табл. 6.2 в качестве примера приведены некоторые характеристики компьютеров, серверов и графических станций Klondike, ориентированных для использования в системах комплексной автоматизации проектно-конструкторских и технологических работ.

При сетевой организации работы САПР ТП каждый пользователь на соответствующем АРМ является абонентом локальной вычислительной сети.

Локальной называют вычислительную сеть, охватывающую небольшую территорию (диаметром до 10 км) внутри одной организации и состоящую из оконечных (абонентских) систем, генерирующих и (или) потребляющих информацию, и сети передачи данных (сети связи). В качестве оконечных систем могут выступать компьютеры, системы хранения (банки) данных и знаний, программируемые устройства управления (например, устройства ЧПУ станков), устройства ввода и отображения данных. Сеть связи состоит из физических средств передачи информации (блоки доступа, средства передачи сигналов) и программно-технических средств сопряжения оконечных систем (модемы, контроллеры сети и т. д.).

Локальные сети — распределенные вычислительные системы, объединяющие компьютеры, как правило находящиеся в пределах одного или нескольких зданий. По масштабам и иерархии построения различают сети рабочих групп (5—20 станций); отделов (20—100 станций) и предприятий (корпоративные сети). Одной из главных характеристик локальных сетей является их пропускная способность.

Архитектура сети описывает физическое расположение сетевых устройств, характеристику используемых технических устройств, адаптеров и кабелей. Кроме того, сетевая архитектура определяет методы передачи данных. Применяют две архитектуры локальных сетей:

- архитектура клиент-сервер;
- одноранговая архитектура.

При архитектуре клиент-сервер каждый оконечный пользователь потребляет информационные ресурсы, предоставляемые сервером. Эта архитектура сети позволяет эффективно использовать ресурсы серверов.

При одноранговой архитектуре сети каждая абонентская система может в одинаковой мере предоставлять и потреблять информационные ресурсы. Взаимодействующие абонентские системы равноправны.

В зависимости от технологии передачи данных выделяются сети с маршрутизацией данных и селекцией данных. В сетях с маршру-

Т а б л и ц а 6.2. Некоторые характеристики персональных компьютеров, серверов и графических станций Klondike

Модель	Назначение	Тактовая частота процессора, ГГц	Память	Жесткий диск	Сеть
Klondike ST	Персональный компьютер для повседневных задач	Intel Celeron, 1,7 ... 2,4; Intel Pentium, 4 1,8 ... 2,8	PC-133; DDR 226/333, до 1 024 Мбайт	20—200 Гбайт	Встроенный адаптер SiS 962L, 10/100 Мбит/с
Klondike SP	Мощный универсальный компьютер для широкого круга задач	AMD Duron 1300, 1 ... 1,3; AMD Athlon XP 1700—3000, 1,4 ... 1,6	DDR 226/333/400 (2 канала), до 3 072 Мбайт	20—250 Гбайт	Встроенный адаптер, скорость передачи данных до 100 Мбит/с
Klondike HS	Мощный, высокопроизводительный компьютер с широкими возможностями наращивания конфигурации	Intel Celeron, 1,7 ... 2,4; Intel Pentium 4, 1,8 ... 3,06; Intel Pentium 4, 2,4 ... 3,2	DDR 226/333/400 (2 канала), до 4 096 Мбайт	20—200 Гбайт	Встроенный адаптер 3COM, скорость передачи данных до 1 000 Мбит/с
Klondike President 1000	Компактный файловый сервер предприятий, имеющих развитую информационную структуру	2xIntel Xeon 533 (кэш L2, 512 Кбайт), 2,4 ... 2,8	ECC DDR 266, до 4 Гбайт	IDE, 292 Гбайт; SCSI, до 400 Гбайт	10 Base-T/ 100 Base-TX/ 1000 Base-T

Кlondike President 1500A	Универсальный 2-про- цессорный сервер крупного отдела или компании среднего бизнеса с числом сотрудников более 100 человек	2xIntel Xeon 533 (кэш L2, 512 Кбайт), 2,4...3,06	ECC DDR 266, до 8 Гбайт	IDE, 876 Гбайт; SCSI, до 1 200 Гбайт	10 Base-T/ 100 Base-TX/ 1000 Base-T
Кlondike President 64К4	Мощный сервер под- держки СУБД, задач проектирования, сложных расчетов	4xIntel Itanium 2 (кэш L3, до 6 Мбайт), 0,9...1,5	ECC DDR 266, до 32 Гбайт	До 438 Гбайт	1000 Base-T, до 1 Гбит/с
Кlondike President 4000	Мощный производи- тельный сервер мас- штаба предприятия	4xIntel Xeon MP (кэш L3, 2 048 Кбайт), 1,4...2,8	ECC DDR 266, до 24 Гбайт	До 1,43 Тбайт	2x10 Base-T/ 100 Base-TX/ 1000 Base-T
Кlondike 3D 1800D	Мощная двухпроцес- сорная графическая станция для трехмер- ного моделирования	2xIntel Xeon 533, 2,0...3,06	ECC DDR 266 (2 канала), до 4 Гбайт	Ultra ATA/100; Serial ATA/150, до 4 Тбайт	Встроенная 10/100/ 1 000 Мбит/с

тизацией данных каждый блок данных передают только одной системе — адресату, а в сетях с селекцией данных — всем системам. В зависимости от используемых физических средств соединения выделяют кабельные и беспроводные локальные сети. Однако часто используются смешанные, в которых совместно работают кабельные и беспроводные сети.

Любая сеть состоит из узлов и соединяющих их линий связи. Узлы бывают конечными и промежуточными. Конечный узел имеет одно соединение с линией связи, промежуточный — более одного.

Узлы сети могут быть станциями, либо специальным коммуникационным оборудованием (рис. 6.1). На рисунке станции обозначены буквой «С», коммуникационное оборудование — буквой «Х». Простейшая сеть содержит 2 узла — станции (см. рис. 6.1, а). Сетевая топология — граф связей компьютерной сети, т. е. соединения узлов и линий связи. Различают типовые (см. рис. 6.1, а—д) и производные сетевые топологии.

Каждая сеть должна следовать определенным правилам (протоколам) при передаче данных от одного компьютера к другому. Протокол определяет способ доступа узла к передающей среде (кабелю) и способ передачи информации от одного узла к другому.

Наиболее известным является протокол Ethernet. Он был разработан в 1973 г. компанией Xerox и развит впоследствии ею совместно с Intel и Digital Equipment Corp. С тех пор этот протокол стал международным стандартом организации компьютерных сетей. Стандарт был документирован и развит институтом IEEE и получил известность как спецификация IEEE 802.3.

Технологии Fast Ethernet и Gigabit Ethernet являются дальнейшим развитием Ethernet. Сети Fast Ethernet имеют номинальную пропускную способность до 100 Мбит/с, сети Gigabit Ethernet до 1 Гбит/с.

Существуют три основных стандарта беспроводных сетей: 802.11a; 802.11b; 802.11g. Наиболее популярен стандарт 802.11b. Скорость передачи данных 11... 54 Мбит/с, частота 2,4 ГГц. Этот стандарт позволяет использовать в новых сетях старое оборудование.

В качестве носителей информации в современной коммуникационной технике используют электромагнитные сигналы в виде колебаний различных частот. Под средой передачи данных (связи) понимают физическую среду, по которой распространяется сигнал при его прохождении по линии связи. В линиях связи используют две основные технологии: проводниковую и беспроводниковую. Наиболее распространенной средой передачи являются медные электрические проводники. В качестве носителя информации в них используют переменный электрический ток различных частот и форм сигнала. Наиболее распространенные виды кабелей, используемых в компьютерных сетях:

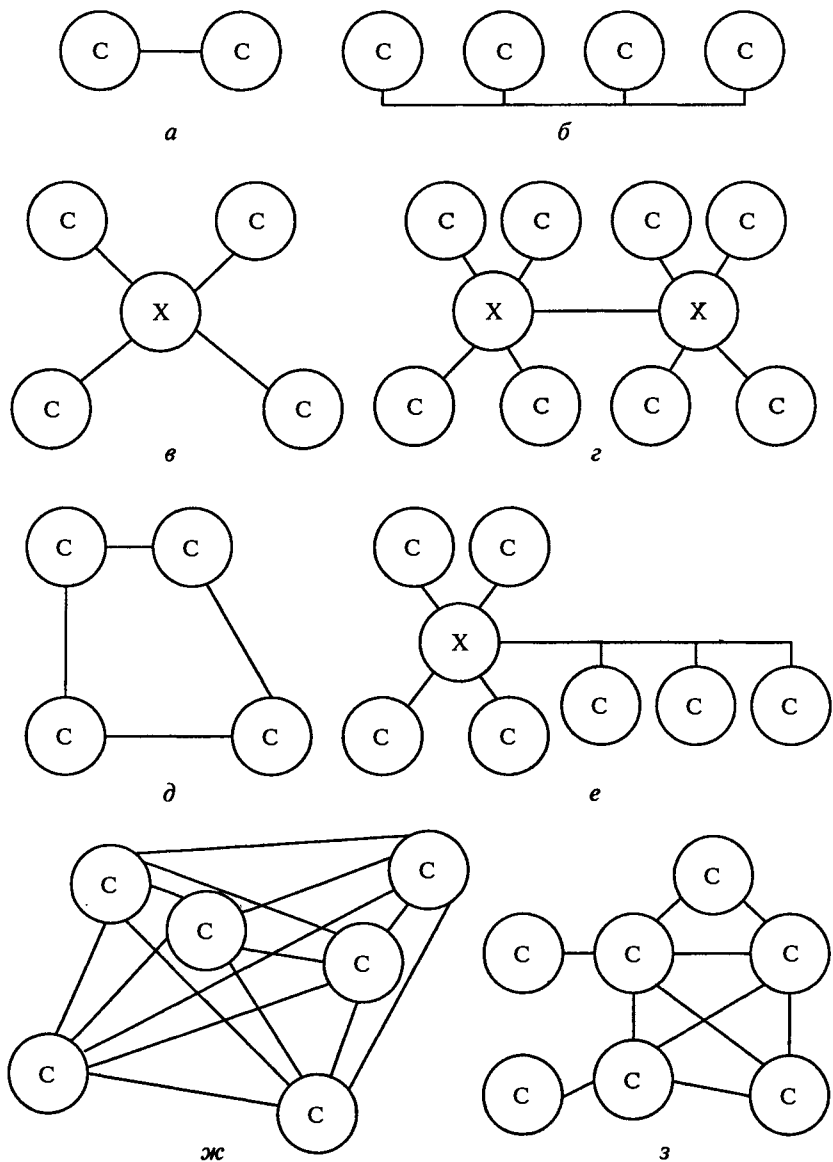


Рис. 6.1. Основные сетевые топологии:

а — точка-точка; *б* — шина (линейная сеть); *в* — звезда; *г* — дерево (иерархическая звезда); *д* — кольцо; *е* — смешанная; *ж* — полностью связанная; *з* — ячеистая

- коаксиальный — изолированная медная жила, экранированная металлической оплеткой;
- экранированная или неэкранированная витая пара — пара изолированных скрученных проводов;
- телефонные линии общего пользования — двухжильные изолированные провода абонентских линий и многожильные кабели телефонных коммуникаций.

Волоконно-оптические (оптоволоконные) линии связи представляют собой полый гибкий проводник (световод), покрытый изнутри отражающим веществом. В качестве носителя используют модулированный световой луч, испускаемый лазером.

При беспроводной связи в качестве среды передачи используется окружающий воздух, вода, вакуум или другая среда, не задерживающая электромагнитные волны, являющиеся в данном случае носителем информации. В локальных сетях используют сверхвысокочастотную беспроводную связь.

К коммуникационному оборудованию (сетевым устройствам) относят специальные устройства для соединения линий связи, усиления сигнала, образования нужной сетевой топологии, адресной пересылки данных, защиты информации и т. д.

Пассивное коммуникационное оборудование — всевозможные соединители, разъемы, терминаторы (заглушки) и т. д. К активным оконечным сетевым устройствам относятся сетевая карта (сетевой адаптер) и модем — устройства, соединяющие компьютер с линией связи. К активным промежуточным устройствам относят:

- повторители и концентраторы — простейшие устройства для усиления сигнала и образования сетевых топологий «звезда» и «дерево»;
- мосты и коммутаторы — устройства с функциями концентраторов, дополнительно выполняющие коммутацию (соединение) между станцией-источником и станцией-приемником для увеличения эффективной пропускной способности сети;
- маршрутизаторы (роутеры) — сложные программируемые устройства, выполняющие функции маршрутизации — поиска оптимального пути прохождения данных, соединения сетей различных технологий.

Ранее маршрутизаторы часто называли шлюзами, теперь под шлюзом понимают специальный компьютер или аппаратное устройство на стыке двух сетей. Одной из функций шлюзов является обмен данными (перевод данных) между сетями с отличающимися протоколами. Маршрутизация в шлюзах сводится только к соединению двух подсетей.

Межсетевой экран (брандмауер) — шлюз, фильтрующий данные, поступающие в сеть. Брандмауеры используют для борьбы с несанкционированным доступом в сеть из внешних по отношению к ней сетей.

Сервер сети кроме функций файл-сервера может выполнять и ряд других функций.

Принт-сервер позволяет всем подключенным к нему компьютерам распечатывать документы на одном или нескольких общих принтерах. В этом случае отпадает необходимость комплектовать каждый компьютер собственным принтером. Кроме того, принимая на себя все заботы о выводе документов на печать, принт-сервер освобождает компьютеры для дальнейшей работы. Посланные на печать документы принт-сервер хранит на своем жестком диске, выстраивает их в очередь и выводит на принтер в порядке очередности.

Факс-сервер заменяет собой факсовый аппарат. Любой компьютер может с помощью факс-сервера непосредственно отправить факсимильное сообщение, не распечатывая его предварительно на бумаге. Как и в случае принт-сервера, факс-сервер принимает все запросы на отправку факсов и хранит их у себя, а непосредственно отправкой занимается по мере освобождения телефонной линии или же вообще переносит отправку на ночное время, когда линии загружены меньше, а тарифы на междугородные звонки минимальны. Приходящие факсы либо хранятся на сервере, откуда их может затребовать адресат, либо могут поступать непосредственно на компьютер адресата.

Сервер удаленного доступа позволяет компьютеру связываться с офисной сетью по телефонным линиям.

Почтовый сервер используется в крупных корпорациях с многочисленным штатом, где внутренняя электронная почта играет роль очень важного средства общения, даже более важного, чем телефон, поскольку с ее помощью можно передавать не только текстовые сообщения, но и любые изображения и даже фрагменты видео.

WWW-сервер соответствует понятию Интранет, т. е. локальной сети офиса, построенной по тем же принципам, что и Интернет. Некоторые разделы WWW-сервера могут быть доступны и для внешнего мира, как средство предоставления информации для своих сотрудников, находящихся вне офиса, для деловых партнеров или же всех потенциальных клиентов, имеющих доступ в Интернет. Подобный подход при предусмотренных мерах защиты позволяет экономить усилия при работе с информационными базами — гораздо проще иметь один стандартный вид хранения и представления информации как внутри, так и вне фирмы, чем несколько.

Все вышеперечисленные функции (а также многие другие) может выполнять один сервер. Имея необходимые характеристики (прежде всего большой объем оперативной памяти и надежную дисковую подсистему, и, желательно, более одного процессора), сервер с помощью соответствующего программного обеспечения способен взять на себя все указанные функции.

Иногда понятие сервер применяют равным образом к программному обеспечению физического сервера. Например Apache-сервер, SQL-сервер и т. д.

Возможности серверов должны соответствовать уровню задач САПР ТП, реализующихся в сети, и ее масштабу. Так, например, сетевая реализация на базе MS SQL Server соответствует по возможностям уровню предприятия в области анализа данных для быстрого создания бизнес-приложений и хранилищ данных. Полностью используются все возможности операционной системы Windows, включая поддержку до 32 процессоров и 64 Гбайт памяти.

Для решения задач, требующих большой вычислительной мощности, поддержки СУБД предприятий, управления большими и сверхбольшими системами хранения информации, обеспечивающими быструю реакцию на запросы клиентских приложений с успехом могут быть применены четырехпроцессорные серверы Aqua Server P404, выпускаемые компанией «Аквариус» (Россия). Этот сервер построен на базе процессора Intel Xeon MP с тактовой частотой 1,4...2,8 ГГц. Производительность сервера повышена за счет возможности параллельного выполнения на одном процессоре двух независимых потоков команд. Сервер сертифицирован на совместимость с семейством операционных систем Microsoft Windows Server 2003. Для предприятий и организаций, имеющих ограниченные бюджеты на закупку оборудования, может быть рекомендован, например, однопроцессорный сервер той же компании Aqua Server T147. Он подходит для применения в бюджетных организациях, на предприятиях малого и среднего бизнеса в качестве обычного файл-сервера, сервера электронной почты, сервера печати или для обслуживания терминалов в небольших рабочих группах. Aqua Server T147 прошел тест на совместимость с операционными системами Windows 2000 Server и Windows 2003 Server. Современные серверы обладают функцией «горячей замены» (возможностью замены дисковой подсистемы без остановки сервера), большой расширяемостью и мощным набором средств связи.

Новый подход к совершенствованию информационной инфраструктуры предприятий состоит в использовании «терминальных решений». Все основные приложения переносятся на высокопроизводительные серверы, а рабочие места сотрудников строятся с использованием недорогих терминальных клиентских устройств. По сравнению со стандартными рабочими станциями терминальные решения более компактны и экономичны, а также обладают целым рядом ценовых и технологических преимуществ, как-то:

- повышенная безопасность и контроль доступа к ресурсам;
- надежная защита от вирусов;
- простой мониторинг и высокая управляемость;
- легкость обновления и смены программного обеспечения;

- отсутствие шума;
- более длительный срок эксплуатации.

В совокупности эти преимущества позволяют существенно снизить стоимость оборудования.

Терминальные устройства, например, Kraftway Popular VV10 (станция начального уровня), Kraftway Popular VV20 (станция для ресурсоемких приложений) на базе Microsoft Windows CE или Linux могут использоваться как удаленные клиенты клиент-серверных приложений, рабочие места САПР ТП или автоматизированных систем управления технологическими процессами. Это позволяет предприятиям крупного бизнеса резко сократить расходы на администрирование вычислительной техники, а предприятиям среднего и малого бизнеса — обеспечить сотрудникам недорогие и в то же время современные рабочие места.

Каждое АРМ комплектуется необходимым периферийным оборудованием, в состав которого обычно входят устройства:

- вывода текстовой и графической информации на печать (принтеры);
- устройства вывода графической информации, предназначенные для документирования промежуточных и окончательных графических результатов проектирования (плоттеры);
- ввода текстовой (символьной) информации (сканеры);
- внешней памяти и др.

В целом эффективную конфигурацию АРМ определяет не только соответствующее ему программное обеспечение, но и организация рабочего места, включая выбор требуемого персонального компьютера, периферийных устройств и других элементов рабочего пространства (мебели, стульев, канцелярских принадлежностей), а также выбор подвода коммутации и подключения к локальной сети предприятия. Автоматизация, несомненно, не исключает использования печатной технологической документации, литературы, справочников и других печатных материалов, равным образом требующих своего размещения.

Принтер — устройство для печати изображений на различных носителях (обычная, фото- и термопереводная бумага, специальные пленки, CD-диски). Чаще всего в составе САПР ТП используют принтеры четырех основных производителей — фирм Canon, Epson, Hewlett Packard, Lexmark. Продукцию последней отличают среднее и хорошее качество печати при относительно низкой цене.

Наибольшее распространение получили лазерные и струйные разновидности принтеров. Выбор той или иной модели принтера обусловлен требуемыми характеристиками качества печати, возможностью печати форматов А2, А3, скорости печати, экономичностью, которая зависит от стоимости расходных материалов и других характеристик принтеров. В настоящее время важным кри-

терием для рабочего использования являются коммутационные возможности принтеров при их интеграции в локальную компьютерную сеть.

Лидером современного рынка лазерных принтеров является фирма Hewlett Packard (США). Это обусловлено широким сервисом, доступностью расходных материалов, различными модификациями предлагаемых ею принтеров. Обычные лазерные принтеры обеспечивают только черно-белую печать. Существуют и более совершенные лазерные принтеры с цветной печатью, предназначенные для специализированных издательств и дизайн-студий. Использование таких принтеров на АРМ нецелесообразно.

Фирма Hewlett Packard при разработке профессиональных принтеров, используемых в САПР машиностроительного профиля, широко применяет технологии цветной термальной струйной печати (табл. 6.3). Практически все принтеры ориентированы на эксплуатацию в локальных сетях.

Современные технологии высококачественной печати, например, НДР (High Definition Print) позволяют получать при печати чрезвычайно высокое качество изображения, четкие линии, равномерную заливку черного. Использующие данную технологию принтеры, например, KipStar 1200 позволяют получать документы форматов А4—А2 при разрешении 600×600 dpi (точек на дюйм) со скоростью А2 — 14, А3 — 24, А4 — 40 шт./мин (линейная скорость печати до 200 мм/с). Мощный интегрированный принт-сервер KIPKON-E подключается к локальной сети. Мощные принтеры KipStar 6000 и KipStar 7000 обеспечивают объемы печати от 12...30 тыс. метров в месяц и от 25 тыс. метров в месяц соответственно (линейная скорость печати 100 мм/с).

Плоттерами называют широкоформатные печатающие устройства, предназначенные для вывода на печать графических изображений (чертежей). В САПР применяют струйные (CalComp, Encad, Hewlett Packard, Summagraphics, Mutoh), электростатические (Xerox, CalComp) и твердоскоковые плоттеры (Laser Master). Наибольший интерес для использования в САПР ТП представляют струйные плоттеры. Электростатические плоттеры быстрее струйных, существует технология, при которой можно получить влагостойкое изображение, однако на струйных плоттерах по иной технологии можно добиться аналогичного результата, а по цене электростатические плоттеры на порядок дороже струйных. Плоттеры на твердоскоковых чернилах дают очень высокое качество изображения, однако восковые чернила не выдерживают даже слабых механических воздействий (остаются царапины) и не выносят температурных нагрузок — обтекают на солнце и не выдерживают горячего ламинирования (табл. 6.4).

Струйная печать — это процесс получения изображения, при котором элементы изображения создаются капельками чернил,

Таблица 6.3. Основные характеристики некоторых принтеров фирмы Hewlett Packard (HP), использующих технологии цветной терминальной струйной печати

Технические характеристики	Модель принтера					
	HP DJ 1050C Plus	HP DJ 1055C Plus	HP DJ 500/500PS 24"	HP DJ 500/500PS 42"	HP DJ 800/800PS 24"	HP DJ 800/800PS 42"
Разрешение, dpi	1 200×600	1 200×600	1 200×600	1 200×600	2 400×1 200	2 400×1 200
Минимальная толщина линии, мм	0,08	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04
Время печати: графики в быстром режиме (формат А1), с изображения в быстром режиме (формат А1), м ² /ч цветные чертежи обычный режим, м ² /ч цветные изображения оптимальный режим, м ² /ч	45 (35 м ² /ч) 21 (85 с) 13 (2 мин) 6,5 (4 мин)	45 (35 м ² /ч) 21 (85 с) 13 (2 мин) 6,5 (4 мин)	90 7,9 3,3 2	90 7,9 3,3 2	60 7,9 3,3 2	60 7,9 3,3 2
Память, Мбайт	64 ... 256 (2 Гбайт HD)	64 ... 256 (7,5 Гбайт HD)	16 ... 160	16 ... 160	96 ... 160 (6,0 Гбайт HD)	160 (6,0 Гбайт HD)

Технические характеристики	Модель принтера					
	HP DJ 1050C Plus	HP DJ 1055C Plus	HP DJ 500/500PS 24"	HP DJ 500/500PS 42"	HP DJ 800/800PS 24"	HP DJ 800/800PS 42"
Размеры носителей:						
листы:	A4—A0					
ширина, мм	—					
длина, мм	—					
рулоны:						
ширина, мм	914	610	610, 914, 1 067	610	610	610, 914, 1 067
длина, м	92	45,7				
Число обслуживаемых пользователей	Крупные рабочие группы					
	1—3			3—10		

Таблица 6.4. Основные достоинства и недостатки различных типов плоттеров

Тип плоттера	Принцип построения изображения	Достоинства	Недостатки
Перьевой	Векторный	Невысокая цена устройств (3... 10 тыс. долл. для формата А0). Высокое качество линий. Низкая стоимость обслуживания. Невысокие затраты на получение изображения. Отличная повторяемость. Возможность получения цветного изображения	Ограниченная производительность. Проблемы с подбором чернил для пишущего узла. Плохо подходит для вывода изображений с залитыми областями. Сравнительно высокий уровень шума
Карандашно-перьевой	Векторный	Невысокая цена устройств (6... 12 тыс. долл. для формата А0). Высокое качество линий. Низкая стоимость обслуживания. Низкие затраты на получение изображения. Отличная повторяемость. Возможность получения цветного изображения (при использовании перьев). Использование карандашных грифелей в качестве пишущего элемента. Вывод на бумагу различного качества. Повышенная, по отношению к перьевым плоттерам, производительность. Автономность (автоматическая замена грифелей)	Ограниченная производительность. Плохо подходит для вывода изображений с залитыми областями. Сравнительно высокий уровень шума
Струйный	Растровый	Невысокая цена устройств (6... 14 тыс. долл. для монохромных для формата А0). Широкая цветовая палитра. Достаточно высокая производительность.	Возможность выцветания изображения (для предотвращения требуется бумага со специальным покрытием)

Тип плоттера	Принцип построения изображения	Достоинства	Недостатки
		Автономность (работа с рулонными носителями)	
Электро-статиче-ский	Растровый	Высокое качества печати. Широкая цветовая палитра. Высокая производительность. Повышенная надежность. Аппаратная поддержка локальной сети. Средние эксплуатационные затраты	Высокая цена устройств (30... 70 тыс. долл. для формата А0). Необходимость квалифицированного обслуживания и его высокая стоимость. Требования к стабильности температуры и влажности воздуха
Прямого вывода изображения	Растровый	Высокая производительность. Низкие эксплуатационные затраты. Аппаратная поддержка локальной сети. Автономность	Относительно высокая цена устройств (20... 30 тыс. долл. для формата А0). Использование термочувствительных носителей. Монохромное изображение
На основе термопередачи	Растровый	Высокое качество изображения. Широкая цветовая палитра	Относительно высокая цена устройств (20... 30 тыс. долл. для формата А0). Невысокая производительность. Высокие эксплуатационные затраты за счет расходных материалов (красящая пленка)
Лазерные, LED	Растровый	Высокая производительность. Невысокие эксплуатационные затраты. Использование обычной бумаги. Аппаратная поддержка локальной сети. Автономность	Относительно высокая цена устройств (20... 35 тыс. долл. для формата А0). Монохромное изображение

вылетающими из сопла со скоростью, достаточной, чтобы преодолеть зазор между соплом и поверхностью, на которой формируется изображение. Технология «пузырьковой» струйной печати использует направленное распыление капелек чернил на бумагу при помощи мельчайших сопел печатающей головки. В стенку сопла встроен нагревательный элемент. При подаче электрического импульса температура его резко возрастает за 7... 10 мкс. Практически все чернила, находящиеся в контакте с нагревательным элементом, мгновенно испаряются. Расширение пара вызывает ударную волну. Под действием избыточного давления капелька чернил «выстреливает из сопла». После «выстрела» чернильный пар конденсируется, пузырек схлопывается; в сопле образуется зона пониженного давления, под действием которого новая порция чернил всасывается в сопло.

Важной конструктивной особенностью такого печатающего устройства является простая конструкция сопел. Кроме низкой стоимости изготовления у него есть еще ряд преимуществ:

- высокая надежность каждого сопла, что упрощает конструкцию и, следовательно, уменьшает размер печатающего узла, так как не надо обеспечивать возможность замены сопел;
- сопла можно располагать очень близко друг к другу, а это увеличивает разрешение печати;
- отсутствие какого-либо звука при работе печатающей головки.

Печатающие головки могут быть цветными и иметь соответствующее число групп сопел. Сложные цвета образуются смешением основных цветов, получение различных оттенков достигается путем сгущения или разрежения точек соответствующего цвета в фрагменте изображения.

Существуют три разновидности струйных плоттеров — монохромные, цветные (полноцветные) и с возможностью цветной печати, наиболее подходящие для получения чертежей с цветными линиями и технологических эскизов.

Струйные плоттеры, как и перьевые, не совсем устраивают пользователей при больших объемах выводимой графической информации. Более производительными являются плоттеры прямого вывода или лазерные.

В плоттерах прямого вывода изображение создается длинной (на всю ширину плоттера) «гребенкой» миниатюрных нагревателей. Каждый нагреватель имеет самостоятельное управление. Когда термобумага движется вдоль «гребенки», она меняет цвет в местах нагрева. Современная термобумага дает естественный черный цвет. Изображение получается монохромным.

Простота механизма печати гарантирует скорость и надежность в работе. Использование плоттеров прямого вывода изображения позволяет достичь производительности 50 листов формата А0 в день.

Термобумага обычно продается в рулонах, что не требует дополнительного времени на заправку и запуск печати каждого листа. Работа происходит без вмешательства оператора, при этом изображение получается с очень высоким разрешением (до 800 dpi). В устройстве нет движущихся частей, не нужны тонер и чернила.

Плоттеры прямого вывода изображения хороши для больших объемов выводимой информации. Учитывая их высокую производительность и низкую удельную стоимость чертежей, их применяют в крупных проектных организациях как для вывода проверочных копий, так и для окончательного пакета чертежей изделия. Большой поток данных требует большой пропускной способности интерфейса. В связи с этим в стандартную конфигурацию плоттеров прямого вывода изображения часто входит интерфейс к локальной сети.

Лазерные плоттеры базируются на электрографической технологии, в основу которой положены физические процессы внутреннего фотоэффекта в светочувствительных полупроводниковых слоях селеносодержащих материалов и силовое действие электрического поля. Селен в темноте может быть заряжен до потенциала в сотни вольт. Луч света снимает этот заряд, создавая скрытое электростатическое изображение, которое визуализируется намагниченным мелкодисперсным тоном, а затем переносится на бумагу.

В качестве промежуточного носителя в лазерных принтерах и плоттерах используют вращающийся барабан. Заряженные области барабана притягивают сухой тонер, который затем переносится на проходящую под барабаном бумагу. После чего частички тонера запекаются, создавая изображение.

Некоторое время назад создание скрытого изображения на барабане осуществлялось при помощи лазера. Для управления перемещением лазерного луча использовали сложную систему вращающихся зеркальных многогранников или призм и линз. Вследствие этого плоттеры (и принтеры), использующие лазеры, боялись встрясок и ударов, которые могли сбить настройку.

Избежать сложностей с оптикой позволило применение точечных полупроводниковых светодиодов (light emitted diod), которые и дали имя новому типу устройств — LED плоттеры. Общий принцип создания изображения сохранился, однако вместо зеркал используется линейка светоизлучающих диодов. LED плоттеры относятся к классу растровых. Каждой точке строки изображения соответствует свой светодиод (например, при разрешении 400 dpi линейка для формата A1 состоит из 9 600 диодов). Отказ от оптического управления сделал систему проще, легче и надежнее, так как все диоды жестко закреплены.

Лазерные и LED плоттеры, ввиду высокого быстродействия (лист формата A1 выводится менее чем за полминуты), в первую очередь интересны пользователям, имеющим большой объем работ.

Для повышения эффективности такие плоттеры чаще всего используются как сетевые устройства. К числу их преимуществ относится то, что они могут работать на обычной бумаге, что сокращает удельные затраты при эксплуатации. LED плоттеры становятся все более популярными, хотя по уровню стоимости находятся в высшей ценовой категории, лишь ненамного уступая электростатическим.

Применение светодиодной технологии печати в плоттерах, например, семейства KipStar 2000 — KipStar 8000 позволяет обеспечить при разрешении 400 dpi скорость печати 50... 240 мм/с. Размеры копий 914×16 000 мм или без ограничения максимальной длины. Эти плоттеры используются как сетевые и поставляются со встроенным принт-сервером. Обеспечивают производительность печати 5 000... 100 000 м/месяц при скоростях печати 3... 14,4 м/мин.

При выборе плоттера для использования в составе технических средств САПР ТП учитывают размеры носителя и формат выводимого изображения, характеристики точности изображения (разрешение), желаемую производительность (скорость печати), память и т. д.

Важным параметром плоттера, определяющим скорость печати, является тип используемого интерфейса. Стандартными для плоттеров являются последовательный интерфейс RS-232C и более быстрый параллельный интерфейс Centronics. Современные плоттеры большого формата имеют объем стандартного буфера памяти от 1 Мбайт с расширением до 64 Мбайт. Высокопроизводительные плоттеры оснащают дополнительной дисковой памятью.

Сканер предназначен для ввода изображений (текстовых документов, чертежей) в компьютер. Различают планшетные, протяжные и ручные сканеры.

Наиболее распространены планшетные сканеры на основе CIS и CCD датчиков. Первые относят к контактному типу. Они сканируют только ту поверхность, с которой они соприкасаются. Если оригинал является неплоским (разворот книги, старый чертеж), то возможна потеря информации (изображений), размещенных на прилегающих поверхностях. Достоинствами сканеров с использованием CIS датчиков являются относительно невысокая стоимость и малые габариты. CCD датчики как бы фотографируют поверхность. При более высоком разрешении они обеспечивают полный съем информации даже с неровных оригиналов.

Скорость сканирования определяется типом используемого интерфейса. Наибольшую скорость сканирования в сканерах общего назначения обеспечивает интерфейс USB2.0 High Speed (до 480 Мбит/с). В промышленных сканерах часто используют интерфейс SCSI.

При выборе сканера для использования в составе САПР ТП учитывают его планируемое назначение, максимальное разрешение, максимальный размер сканируемого изображения, интерфейс ввода, характеристики датчиков.

Наиболее известными производителями сканеров являются фирмы: Hewlett Packard, Epson, Mustek и BenQ.

Основные характеристики некоторых промышленных сканеров приведены в табл. 6.5.

Сканирование часто используют при создании электронных архивов, например, средств технологического оснащения (приспособлений, режущего и вспомогательного инструмента и т.д.), изделий и технологических процессов.

Для повышения качества работы сканеров используют программное обеспечение управления процессом сканирования. Отсканированные файлы могут быть сохранены на любом носителе, переданы по локальной сети или по Интернету. Программные средства, обеспечивающие такие функции, как пакетное сканирование, автоматическая нумерация файлов и другие, позволяют значительно ускорить процесс ввода и обработки изображений.

Возможности рабочего процесса расширяет сканирование в архив или базу данных. Это же способствует оптимизации выполнения больших объемов сканирования. Функции редактирования изображений обеспечивают интегрированные редакторы первого уровня, позволяющие компенсировать перекося изображения, убрать графический «шум», вырезать, копировать, вставлять, обрезать и объединять изображения, а также добавлять текст. Редакторы второго уровня обеспечивают возможность редактирования и объединения множества чертежей. Встроенные модули назначения заданий позволяют пользователю подготавливать задания для наборов различных форматов.

В настоящее время в промышленных системах автоматизации все более широкое применение находят многофункциональные устройства, сочетающие функции принтера, сканера, копировального устройства, а иногда и факса.

Достоинствами многофункциональных устройств является экономия производственной площади (многофункциональное устройство занимает меньшую площадь, чем комплект однофункциональных устройств), а также аппаратная реализация в них некоторых функций, например, копирования. В последнем случае, для выполнения соответствующей функции компьютер не нужен.

К недостаткам многофункциональных устройств относят необходимость ремонта всего устройства при отказе одной из функций. Кроме того, становится невозможной модернизация отдельных функций устройства. В табл. 6.6 приведены основные характеристики некоторых многофункциональных устройств, применяемых в промышленных системах автоматизации.

Для расширения возможностей САПР ТП и рационального использования технических ресурсов системы в них часто применяют устройства внешней памяти, они могут быть представлены различными носителями информации — CD, DVD и др. Применение

Таблица 6.5. Основные характеристики некоторых промышленных сканеров

Характеристика	Модель сканера					
	M4099D	KIP2050	KIP2160	fi-4990C	Colortrac 3640e	Colortrac 5480e
Интерфейс	SCSI-2/RS232C	SCSI-2		UltraWide-SCSI	FireWare-Plug'n'Play	
Разрешение, dpi	200 ... 400	400		100 ... 400	100 ... 1 200	400 ... 2 400
Скорость сканирования	Формат А4, одностороннее — 180 стр./мин, двухстороннее — 90 стр./мин	51 мм/с	160 мм/с	Формат А4, одностороннее — 120 стр./мин, двухстороннее — 60 стр./мин	150 мм/с	114 мм/с
Размеры оригинала:	min А7 max А3	—	—	min А7 max А3	—	—
длина, м	—	Не более 16		—	Без ограничений	
ширина, мм	—	Не более 914		—	Не более 1 092	

Таблица 6.6. Основные характеристики некоторых многофункциональных устройств, применяемых в промышленных системах автоматизации

Характеристика	Модель многофункционального устройства					
	Kip 2980	KipStar 2051/2052/2053	KipStar 6134	KipStar 8120	HP Design-Jet 815 MFP	ColorTrac (семейство)
Функции	Печать, сканирование, копирование					
Объем печати	100 000 м/г.	60 000 м/г.	12 000—30 000 м/мес	50 000—10 000 м/мес	—	—
Размеры носителя, мм	914 × 16 000	914 × 24 000				
Ширина сканирования, мм	980	914				
Разрешение, dpi	400			2 400 × 1 200		
Скорость:						
печати	4,8 м/мин	3 м/мин	6 м/мин	240 мм/с	7,9 м ² /ч	—
сканирования	—	3 м/мин	7,2 м/мин	120 мм/с	—	114 м/с
копирования	—	3 м/мин	6 м/мин	—	—	114 м/с

таких носителей обуславливает использование встроенных или внешних устройств — плееров или рекордеров. Применяют и другие виды внешних запоминающих устройств: внешние жесткие диски, флэш-память и т. д.

Подключение внешних запоминающих устройств осуществляют через соответствующий интерфейс, определяющий принцип подключения и скорость передачи информации. Наиболее часто используемыми являются FireWire и USB. Возможно подключение внешних запоминающих устройств через сетевой интерфейс, в том числе с помощью интерфейсов Infrared, Bluetooth, WiFi (802.11b).

Для твердотельного и поверхностного моделирования объекта производства в современных САПР ТП иногда используют рабочие станции, например, VAX stations и DEC stations фирмы DIGITAL; SPARC stations фирмы SUN Microsystems; IRIS Indigo stations фирмы Silicon Graphics. Применение рабочих станций существенно повышает качество моделирования, облегчает работу пользователей системы, однако, одновременно резко увеличивает стоимость комплекта технических средств системы. Кроме того, могут возникнуть проблемы совместимости программно-аппаратных средств системы и согласования форматов передачи данных.

В САПР ТП принтеры применяют для документирования результатов проектирования. Плоттеры используют при необходимости вывода значительных объемов графической информации, например, технологических эскизов и чертежей, а также, например, при трассировке траекторий относительного движения инструмента и заготовки при обработке на станках с ЧПУ.

При проектировании ТП изготовления деталей пользователь может использовать промежуточный вывод текстовой и графической информации для более тщательного анализа результатов выполнения каждого из этапов проектирования. Например, после выбора исходной заготовки и уточнения ее основных конструктивно-технологических параметров пользователь может трансформировать ее модель в плоский чертеж и вывести его на печать с помощью плоттера.

Современные САПР технологических операций, системы САМ, как правило, обладают встроенной САП и могут оснащаться устройствами занесения сформированных управляющих программ ЧПУ на программноноситель, например, перфоленту.

6.2. Организационно-методическое обеспечение САПР ТП

Организационным обеспечением САПР ТП называют совокупность документов, устанавливающих организационную структуру, права и обязанности пользователей и эксплуатационного персо-

нала системы в условиях ее функционирования, проверки и обеспечения работоспособности.

Методическое обеспечение образует совокупность документов, описывающих технологию функционирования САПР ТП, методы выбора и применения пользователем технологических приемов для получения конкретных результатов при использовании системы.

Проектные решения по организационному и методическому обеспечению входят в состав САПР ТП (компонентов САПР ТП) в форме организационно-методических и эксплуатационных документов.

Компонентами организационного обеспечения САПР ТП являются правила и приказы, регламентирующие права, обязанности и функции каждого участника разработки и эксплуатации САПР ТП: эксплуатационного персонала, инженеров-программистов, системных администраторов, администраторов банка данных, технологов-проектировщиков.

Пользователями современных САПР ТП являются технологи — проектировщики процессов изготовления изделий. Они работают в системе, решая конкретные задачи технологического проектирования в пределах предметной области системы. Пользователь, как правило, поверхностно знает систему, однако, чем глубже технолог-проектировщик понимает возможности и ограничения используемых математических расчетных и оптимизационных процедур, тем успешнее он работает. На проектировщике лежит юридическая ответственность за результаты проектирования, поэтому именно проектировщики являются инициаторами работ по модификации и совершенствованию САПР ТП.

Эксплуатационный персонал обеспечивает работоспособность всего комплекса технических средств САПР ТП, управляет работой последней, организует непосредственно процесс автоматизированного технологического проектирования.

На программистов (системных и проблемных) возлагается обязанность поддерживать работоспособность эксплуатируемого программного комплекса, модифицировать его, добиваться большей эффективности при реализации требований проектировщиков. Кроме того, системные программисты обеспечивают правильное и эффективное обслуживание информационных запросов, оперативную корректировку используемых данных, модификацию структур запросов и т. д.

Администратор САПР ТП, глубоко зная принцип построения и структуру системы, осуществляет общее руководство работами по созданию корпоративной САПР ТП и организации ее эффективной эксплуатации. В случае, если эксплуатирующаяся САПР ТП была приобретена у фирмы-разработчика, администратор обеспечивает непосредственные контакты с последней в течение всего эксплуатационного цикла системы. Целью этих контактов является

ся решение технологических задач, связанных с эксплуатацией системы и ее возможной модификацией. Одной из важнейших задач, стоящих перед администратором системы является ее непрерывное совершенствование (применение все более совершенных ее версий) при минимальных затратах средств и времени, в том числе на обучение (переобучение) персонала и пользователей САПР ТП.

Администратор банка данных имеет сходные функции и обеспечивает работоспособность банка, защиту и пополнение хранящейся в банке информации и модификацию организационного банка с целью повышения эффективности САПР ТП.

Организационное обеспечение САПР ТП включает в себя комплект документов (приказов, положений, штатных расписаний, инструкций, графиков работ и др.), устанавливающих правила выполнения автоматизированного проектирования. Примерами таких документов являются Инструкция пользователя САПР ТП, Инструкция по эксплуатации технических средств АРМ, Должностная инструкция системного администратора и т. д.

Организационное обеспечение регламентирует взаимодействие технологических (проектирующих) и обслуживающих САПР ТП подразделений; ответственность специалистов различного профиля и уровня за определенные виды работ; правила выпуска, использования и корректировки выходных документов САПР ТП; правила доступа к базам данных и знаний; приоритеты пользования средствами САПР ТП.

Компоненты организационного обеспечения должны устанавливать организационную структуру системы и подсистем, включая взаимосвязи ее элементов; задачи и функции службы САПР и связанных с нею подразделений предприятия или проектной организации; права и ответственность должностных лиц по обеспечению создания и функционирования САПР ТП; порядок подготовки и переподготовки пользователей САПР ТП.

Документы, входящие в состав методического обеспечения САПР ТП, регламентируют порядок (технология) ее эксплуатации. В них изложены теория, методы, способы, математические модели, алгоритмы, алгоритмические специальные языки для описания объектов, терминология, нормативы и другие данные, раскрывающие методологию (идеологию) функционирования системы.

Документы (методики, организационные и директивные документы), относящиеся к процессу создания САПР ТП, не входят в состав методического обеспечения.

Отдельные документы, выпущенные при создании и для создания САПР ТП, могут войти в состав САПР ТП, как программно-методического комплекса, и использоваться при ее эксплуатации. Например, при создании САПР ТП разрабатывают структуры и описания баз данных, инструкции по их заполнению. Эти доку-

менты могут стать частью методического обеспечения САПР ТП, так как раскрывают важнейший аспект технологии эксплуатации системы. Порядок разработки документов, относящихся к процессу создания САПР и затем включаемых в состав ее методического обеспечения, определен ГОСТ 23501.10—81 «Системы автоматизированного проектирования. Виды и комплект документов». Этим же стандартом установлен обязательный состав эксплуатационных документов. К последним относят паспорт, формуляр, общее описание системы, ведомость машинных носителей информации, массив входных данных, каталог базы данных, состав выходных данных (сообщений), методику (технология) автоматизированного проектирования, технологические инструкции, руководство пользователя, инструкции по формированию и ведению баз данных, инструкции по эксплуатации комплекса технических средств и описание технологического процесса обработки данных.

Документы методического обеспечения носят в основном инструкционный характер и ориентированы на неавтоматизированное использование человеком. В них в первую очередь раскрывается специфичная терминология, используемая при изложении основных принципов построения, структуры и действий, выполняемых пользователями и обслуживающим персоналом при эксплуатации САПР ТП.

Эффективность САПР ТП прямо зависит от качества документов, входящих в состав методического обеспечения. Они должны быть изложены четко, кратко и ясно. Особое внимание должно быть уделено описанию возможных коллизий, возникающих при эксплуатации системы: диагностике возможных ошибок персонала и пользователей, их ожидаемым последствиям, способам ликвидации этих последствий. В первых версиях автоматизированных систем возможно наличие некорректных зон в программном обеспечении («дыр»). При прохождении этих зон и определенных диапазонов значений входных данных, возможна неадекватная реакция системы — системный сбой (системная ошибка); получение неверных, а иногда и лишенных смысла, результатов; «зависание» системы (отсутствие реакции на действия пользователя). В документах методического обеспечения должны быть подробно описаны наиболее эффективные действия в этих ситуациях.

Пользователи и эксплуатационный персонал системы должны обязательно сообщать об обстоятельствах возникающих сбоев разработчикам. Эта информация весьма ценна для совершенствования программного обеспечения системы и в целом для повышения ее надежности и качества формируемых проектных решений.

Основным направлением совершенствования методического обеспечения САПР ТП является типизация программно-методи-

ческих комплексов и их широкое тиражирование. Такие комплексы должны включать наряду с тщательно протестированными компьютерными программами и базами данных комплекты тщательно подготовленной и отредактированной документации. Эта документация станет частью методического обеспечения САПР ТП.

Разработка типовых программно-методических комплексов связана с совершенствованием и типизацией технологии процессов автоматизированного проектирования, созданием типовых функциональных схем проектирования.

В процессе автоматизированного проектирования можно выделить процедуры, не зависящие от его объекта. Для них разрабатывают типовые схемы реализации, рекомендуемые к использованию в САПР ТП различного функционального назначения. Каждую такую процедуру и схему ее реализации подробно документируют.

Для формирования функциональной схемы автоматизированного проектирования конкретного объекта необходимо выполнить адаптацию типовой схемы, а именно: уточнить состав элементов описания объекта проектирования; конкретизировать состав проектируемых операций, информационные связи между ними, последовательность их выполнения.

Разработка типовых функциональных схем автоматизированного проектирования является важным шагом вперед в решении проблемы формализации процессов проектирования в комплексе и повышения качества всех видов обеспечения САПР ТП.

Контрольные вопросы

1. Что называют техническим обеспечением САПР ТП? Назовите его компоненты.

2. Что является основой технического обеспечения САПР ТП?

3. Что называют локальной вычислительной сетью? Назовите основной состав сетевого оборудования и его важнейшие характеристики.

4. Что такое «архитектура локальной сети»? Назовите основные элементы сети.

5. Что такое АРМ? Какие функции выполняет АРМ в САПР ТП?

6. Какие функции выполняет сервер локальной сети?

7. Назовите состав и важнейшие характеристики основного периферийного оборудования АРМ технолога.

8. Какие основные функции выполняют в САПР ТП принтеры, плоттеры, сканеры, терминальные многофункциональные устройства, графические станции?

9. Что называют организационным, а что — методическим обеспечением САПР ТП? В чем их различие?

10. Каковы основные функции эксплуатационного персонала САПР ТП?

11. Что входит в обязанности администратора САПР ТП, администратора банка данных?

12. Что регламентируют документы организационного обеспечения САПР ТП?

13. Какие документы входят в состав методического обеспечения САПР ТП?

14. Входят ли в состав методического обеспечения САПР ТП документы, связанные с ее разработкой?

15. Как качество методического обеспечения влияет на эффективность работы САПР ТП? Назовите основные направления повышения качества методического обеспечения САПР ТП.

СОВРЕМЕННЫЕ САПР ТП И ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

7.1. Отечественные САПР ТП

Современное машиностроительное производство испытывает постоянно возрастающую потребность в полноценных высокоэффективных САПР ТП различного назначения.

До начала 90-х гг. XX в. в отечественном машиностроении, за редким исключением, применялись САПР ТП отечественной разработки. Многие предприятия и прежде всего оборонно-промышленного комплекса создавали, эксплуатировали и тиражировали собственные системы. Наряду с эффективно работавшими САПР ТП существовало значительное число систем, не отвечавших предъявляемым к подобным системам требованиям, имевших весьма ограниченные области применения, малую надежность и т. д. Необходимость работы с такими системами часто вызывала у технологов-проектировщиков негативное отношение к самой идее автоматизации проектирования ТП.

В конце XX в. политика предприятий в области САПР ТП серьезно изменилась. Предприятия перестали разрабатывать собственные системы и начали покупать лицензионные САПР ТП необходимой конфигурации и функционального назначения. Число отечественных разработчиков САПР ТП резко сократилось. На рынок стали поступать зарубежные системы. Однако, если адаптация САПР К зарубежной разработки к отечественным условиям применения и ее «русификация» проходят сравнительно просто, то аналогичные действия с САПР ТП часто вызывают серьезные затруднения. Прежде всего сказываются различия в нормативных базах (отечественные стандарты не совпадают с зарубежными). Не совпадают марки используемых материалов, разнятся методики определения их характеристик. Не совпадает общая методология проектирования ТП, подходы к определению режимов обработки, оценки возможных сил резания и т. д. Все это накладывает серьезные ограничения на конкурентоспособность САПР ТП зарубежной разработки на отечественном рынке.

Рыночной «нишей» САПР зарубежного производства на отечественном рынке можно считать САПР К и САП. Создание САПР маршрутной и операционной технологий для использования на

отечественных предприятиях следует считать прерогативой отечественных разработчиков. На некоторых отечественных предприятиях уже начали применять «связки» САПР зарубежной и отечественной разработки: автоматизированное конструирование изделия и его элементов выполняют с помощью зарубежной САПР К, а технологическую подготовку — с помощью отечественной САПР ТП. При интеграции систем становятся первоочередными проблемы совместимости форматов экспортируемых (импортируемых) данных.

Рассмотрим реализации некоторых отечественных САПР ТП, находящих применение в промышленности.

КОМПАС-Автопроект. Разработчик — компания АСКОН. Комплекс КОМПАС-Автопроект ориентирован на использование в интегрированных системах автоматизированной поддержки ЖЦИ на базе CALS-технологий, как средство автоматизации ТПП.

КОМПАС-Автопроект начиная с версии 9.3 является сервером автоматизации, предоставляющим клиентским приложениям для использования свыше 300 различных методов и сервисных программ.

Внешние приложения, работающие с КОМПАС-Автопроект, могут:

- реагировать на события, происходящие на сервере: открытие и закрытие баз данных, смена подсистем, таблиц, изменение данных, завершение приложения и др.;
- получать данные о текущем состоянии системы: содержание активной таблицы, последний выполненный SQL-запрос, конфигурационные настройки, имя пользователя, его ранг и т. д.;
- управлять системой: загружать требуемые базы данных, автоматически перемещаться по таблицам, копировать информацию из справочников, выделять блоки записей, производить их удаление или вставку и т. д.

Открытая архитектура системы позволяет предприятиям самостоятельно разрабатывать новые программные модули, встраивать их в программный комплекс. Использование возможностей сервера автоматизации КОМПАС-Автопроект облегчает разработку приложений, практически снимает ограничения по адаптации системы под специальные требования заказчиков и обеспечивает решение разнообразных задач ТПП, включая возможности интеграции с уже работающими на предприятии системами ERP/MRP/PLM.

Основным техническим средством рабочего места системы является персональный компьютер стандартной конфигурации с операционной системой Windows.

Реализованные технологические модули обеспечивают:

- расчет норм расхода материала;
- расчет режимов резания;
- определение режимов сварки;

- нормирование затрат труда;
- оформление технологической документации на разработанный ТП;
- поиск ТП в архиве.

При автоматизированном расчете норм расхода материала учитывают нормативы технологических потерь, отходы вследствие некратности размеров исходного материала и т. д. В зависимости от вида и профиля заготовки предусмотрены различные методы расчета, например, расчет норм расхода листового материала при индивидуальном раскрое и т. д. Возможна настройка системы на алгоритмы нормирования материала, действующие на предприятии. Для оптимального раскроя листового материала предусмотрена входящая в состав программного комплекса САПР Интех-Раскрой W/L.

Подсистема расчета режимов резания для методов механической обработки позволяет определять основное и вспомогательное время соответствующего технологического перехода. Учитывают тип и геометрию обрабатываемого конструктивного элемента, физико-механические свойства материала и состояние поверхностного слоя заготовки, жесткость технологической системы, паспортные данные станка, параметры режущего инструмента и т. д. Вспомогательное время на основной переход определяют по общемашиностроительным нормативам. Возможна настройка на различные алгоритмы расчета, в том числе с использованием методик, принятых на предприятии.

При определении режимов для различных способов сварки выполняют выбор необходимых сварочных материалов (электродов, сварочной проволоки, защитных газов) и норм их расхода. Учитывают конструктивные элементы сварных швов по действующим стандартам, положение шва в пространстве и используемое оборудование.

Предусмотрено нормирование операций по укрупненным типовым нормам, а также нормирование отдельных технологических переходов. Нормирование по укрупненным типовым нормам применяют в единичном и мелкосерийном производствах. Подробное нормирование по каждому переходу — в крупносерийном и массовом. При нормировании учитывают время на установку заготовки, на контрольные измерения, а также необходимое подготовительно-заключительное время. При определении штучно-калькуляционного времени учитывают тип производства, а также все основные составляющие штучного времени.

Возможно оформление различных технологических документов:

- ведомостей для своевременного обеспечения производства материалами, оснасткой или расчета себестоимости изготовления заказа;
- карт (например, операционных).

Программа оформления технологических документов использует специальную пошаговую среду набора и настройки их параметров. Возможно формирование документов в среде MS Excel, их вставка в карты эскизов из САД-систем, добавление в карты любых текстовых документов, в том числе и подготовленных в редакторе Microsoft Word.

Поиск ТП в архиве выполняют по содержанию технологических операций и переходов. Пользователь может вести поиск ТП по используемому оборудованию, режущему инструменту, средствам измерения и т.д. Технологические решения, реализованные в найденном ТП, можно использовать в дальнейшем, как решения-аналоги.

КОМПАС-Автопроект комплектуется по модульному принципу. Это позволяет организовать рабочие места технологов для различных видов производства, а также рабочие места специалистов по расцеховке, материальному и трудовому нормированию. При создании на предприятии единого комплекса автоматизации конструкторско-технологической подготовки хранение информации, созданной в КОМПАС-Автопроект, выполняет система управления ЖЦИ ЛОЦМАН: PLM (или другая PDM/PLM система).

КОМПАС-Автопроект может взаимодействовать с системой трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС 3D, выполняющей функцию САПР К, к тому же дополняемой системой прочностного анализа. Последнюю используют для обоснованного выбора материала детали из встроенного справочника, содержащего информацию более чем о 500 металлических и таком же числе неметаллических материалов.

Комплекс КОМПАС-Автопроект 9.4 клиент-серверная версия состоит из двух подсистем КОМПАС-Автопроект-Технология и КОМПАС-Автопроект-Спецификации.

Подсистема КОМПАС-Автопроект-Технология обеспечивает:

- автоматизированное проектирование ТП основных видов производств;
- автоматическое формирование стандартного комплекса технологической документации и документов произвольной формы в формате MS Excel;
- оперативный просмотр графики: чертежей деталей, инструментов, операционных эскизов, карт наладок и т.д.;
- интеграцию с системами ЛОЦМАН: PLM, PartY Plus, Team-Center, Vaan;
- расчет режимов резания;
- трудовое нормирование технологических операций;
- возможность настройки образцов технологических документов;
- перевод технологий на иностранные языки;
- возможность разработки пользователем подсистем проектирования технологий для различных видов производств;

- автоматизированное формирование кода детали в соответствии с ЕСКД и ТКД;

- выполнение расчетных процедур.

Автоматизированное проектирование ТП выполняют в следующих режимах:

- на основе ТП-аналога с автоматическим выбором соответствующей технологии из архива по различным критериям, в том числе и по конструкторско-технологическому коду детали;

- с использованием типового ТП;

- с использованием библиотеки типовых технологических операций и переходов;

- автоматическая доработка типовой технологии на основе данных, переданных с параметризованного чертежа или эскиза КОМПАС;

- автоматическая доработка типовой технологии на основе расчетных данных или таблицы типоразмеров изготавливаемых деталей.

Продукты КОМПАС успешно интегрируются с зарубежными САПР. При автоматизации проектирования изделий и их элементов на некоторых предприятиях используют «связку» Unigraphics-КОМПАС 3D. При автоматизации ТПП применяют «связку» КОМПАС-Автопроект-Cimatron (подготовка управляющих программ для обслуживания с ЧПУ).

T-FLEX (интегрированный комплекс программ). Разработчик — компания «Топ Системы» включает:

САПР К (CAD-систему) T-FLEX CAD;

САП (CAM-систему) T-FLEX ЧПУ;

систему автоматизации инженерных расчетов (CAE-систему) T-FLEX/Euler;

САПР ТП (CAPP-систему) T-FLEX/ТехноПро;

PDM-систему T-FLEX DOCs.

Комплекс ориентирован на использование в качестве основы (ядра) интегрированной системы автоматизированной поддержки и управления ЖЦИ и реализуется на персональных компьютерах стандартных конфигураций с операционной системой Windows.

Каждый компонент комплекса может использоваться автономно, иметь современный интерфейс. В набор выполняемых функций входят все стандартные операции, производимые системами среднего уровня.

Одной из основных идей, заложенных в программные продукты T-Flex, является идея параметризации — стремление получить конкретный объект проектирования, например, модель конкретной детали, путем соответствующего изменения (или задания) необходимых значений параметров имеющейся параметризованной модели объекта.

Компонент САПР К представлен системой плоского (T-FLEX CAD 2D) и трехмерного (T-FLEX CAD 3D) моделирования сред-

него уровня. Система плоского моделирования позволяет создавать параметрические модели деталей неограниченной сложности. Трехмерное твердотельное моделирование базируется на использовании ядра Parasolid фирмы EDS.

После создания чертежа или трехмерной модели в T-FLEX CAD данные о ее геометрии, размерах и технических условиях могут быть переданы в полуавтоматическом или автоматическом режиме в систему T-FLEX/ТехноПро, где будет получен комплект документов в соответствии с ЕСТД.

Разработчики комплекса считают, что параметрические изменения исходных конструкторских моделей деталей приведут к необходимым автоматическим изменениям в технологической документации. Аналогичная ситуация прослеживается и на примере связи T-FLEX CAD-T-FLEX ЧПУ: благодаря полной интеграции этих систем технологу становятся доступны все параметрические инструменты конструктора. При изменении чертежа или трехмерной модели изменяется управляющая программа, которая по отдельной команде может быть сохранена в PDM-системе.

В САПР ТП T-FLEX/ТехноПро используют параметрическое технологическое проектирование. В базе данных системы хранят параметрические ТП, соответствующие параметрическим моделям изделий в интегрированной с ней САПР К. Процесс проектирования сводят к адаптации параметрической модели ТП, играющей роль ТП-аналога, к конструктивно-технологическим характеристикам конкретной детали, корректировке полученного единичного ТП и его редактированию. Последние действия обязательны, так как количественные изменения параметров модели детали могут привести к качественным изменениям технологических решений. Для спроектированного процесса формируют новый комплект технологических документов, который в виде объектов T-FLEX DOCs сохраняют в базе PDM-системы.

Входящие в комплекс T-FLEX системы подготовки программ для станков с ЧПУ — системы T-FLEX ЧПУ 20 и T-FLEX ЧПУ 30 — позволяют создавать управляющие программы практически для всех существующих сегодня видов обработки: электроэрозионной, лазерной, токарной, сверлильной, фрезерной (2—5-координатной) и гравировки. Архитектурно эти системы встроены в конструкторскую систему T-FLEX CAD, т.е. имеют общий интерфейс моделирования и общее параметрическое ядро. Это позволяет создавать программы ЧПУ, ассоциативно связанные с конструкторской геометрией 2D- и 3D-моделей. При изменении геометрии деталей по определенным параметрам происходит автоматизированное изменение управляющих программ для их обработки.

Используя ассоциативно связанные модели деталей и программ ЧПУ, специалисты могут применять на предприятиях типовые решения путем заимствования проектов в базе знаний T-FLEX

DOCs с последующим изменением параметров в T-FLEX CAD и с получением управляющих программ в T-FLEX ЧПУ.

Созданные управляющие программы сохраняют в T-FLEX DOCs, где для их просмотра (имитации обработки с учетом съема материала) может использоваться ряд модулей, входящих в блок САМ-систем комплекса T-FLEX-T-FLEX NC Tracer. Имитация осуществляется для фрезерной (2—5-координатной), токарной и сверлильной обработок.

Цикл подготовки и обработки управляющей программы включает в себя:

- моделирование изготавливаемой детали — CAD/CAM-система, построение траектории с использованием линейной аппроксимации;
- трансформация — пересчет координат траектории с учетом вылета инструмента, габаритов оснастки;
- постпроцессор — пересчет координат траектории с учетом кинематики станка;
- стойка ЧПУ — интерполяция координат в управляющей программе.

Применение единого математического обеспечения для ТПП и управления станками с ЧПУ позволяет минимизировать погрешности математических преобразований, накапливающиеся в управляющей программе. Библиотека постпроцессоров ориентирована на широкий спектр систем ЧПУ, применяющихся в промышленности.

Система T-FLEX /Технология, по замыслу разработчиков, позволяет осуществить параллельную работу конструкторских и технологических подразделений предприятия. Конструктор создает чертежи изделия в T-FLEX CAD, затем эти чертежи поступают к технологу, который связывает параметры конструкции с исходными данными для формирования технологических операций, вносит недостающую технологическую информацию (сведения об элементах конструкции). Таким образом, исходные данные система считывает с конструкторского чертежа и далее использует для расчета параметров ТП изготовления изделия. Любые изменения размеров, допусков, шероховатостей или других обозначений на чертеже приведут к перерасчету параметров переходов. Совместное использование данных систем также позволяет избежать двойного ввода информации и избежать ошибок, связанных с «человеческим фактором».

Разработаны локальная и коллективная (работающая в среде T-FLEX DOCs) версии системы, при этом использована мощная промышленная СУБД MS SQL Server.

Система создана как средство, не подменяющее технолога, но существенно ускоряющее и упрощающее проектирование технологии, расчет режимов обработки, норм и технологических раз-

мерных цепей, формирование текстов переходов, выбор необходимой технологической оснастки, формирование документации и операционных эскизов.

T-FLEX/Технология обеспечивает автоматизированную разработку маршрутной, маршрутно-операционной и операционной технологий, включая следующие операции: заготовительные, механической и термической обработки, нанесения покрытий, слесарные, сборки и др. Диалоговый режим обеспечивает формирование ТП путем выбора необходимых операций, переходов и оснастки из справочников системы, причем создаваемые таким образом ТП могут служить основой для их использования в дальнейшем в качестве ТП-аналогов. Используя диалоговые средства системы, можно добавлять или изменять операции, переходы, их последовательность и технологическое оснащение в них.

Выбор технологического оснащения производится из информационной базы системы. В ней содержатся данные о наименованиях операций, оборудовании, приспособлениях, вспомогательных материалах, режущих, измерительных и вспомогательных инструментах, заготовках, комплектующих для сборочных ТП и др. К каждому типу технологического оснащения в информационной базе можно добавлять параметры, признаки классификации и иллюстрации. Ускоренный подбор оснащения позволяет управлять каждым последующим этапом подбора в зависимости от выбора на предыдущем этапе.

Средства проектирования дополнены базами данных, содержащими расчеты режимов обработки, трудоемкости, межоперационных размеров и расхода материалов. Базы данных открыты для изменения и добавления методик, расчетных алгоритмов и табличных данных.

Technologi CS. Разработчик — компания Consistent Software. Комплекс, объединяющий программные продукты Mechani CS и Technologi CS, может рассматриваться как интегрированная САПР, формирующая единую систему технической подготовки производства и общую базу конструкторско-технологической информации.

Система Mechani CS обеспечивает:

- формирование чертежей и спецификаций по ЕСКД, конструкторской информации в единой системе ТПП;

- автоматизацию нормоконтроля.

Система Technologi CS обеспечивает:

- автоматизированное проектирование ТП;
- материальное и трудовое нормирование;
- выполнение автоматизированных расчетов на узел, изделие, производственную программу:

- определение потребности в материалах, стандартных изделиях, комплектующих, инструменте и т.д.;

- определение сводной трудоемкости;

оценку загрузки оборудования;
расчет длительности производственного цикла.

Каждая из систем может использоваться автономно и реализоваться на базе персональных компьютеров стандартной конфигурации в операционной системе Windows.

Система Technologi CS наряду с автоматизацией проектирования ТП позволяет формировать необходимую информацию для планирования, диспетчеризации и управления производством.

Проектирование ТП в системе выполняют на основе процессов-аналогов. Разработчики системы при ее создании исходили из следующих основных принципов:

- технолог не должен многократно описывать ТП (т.е. единожды разработав типовой или групповой ТП, он должен использовать его при работе с единичным);
- документация (в том числе ведомости деталей, включающие перечень операций по типовому ТП и их индивидуальные особенности) должна формироваться автоматически;
- система должна хранить в единичном ТП связи операций, выполняемых по типовому (групповому ТП), с процессом-аналогом, чтобы обеспечить в нем необходимые изменения;
- технолог, работая со сквозным единичным ТП, должен иметь информацию о том, какие операции этого ТП принадлежат различным типовым и групповым процессам.

Для разработки и хранения процессов-аналогов в системе предназначен отдельный справочник.

Процесс-аналог (например, типовой ТП), содержит исчерпывающий перечень технологических операций, характерных для всех деталей, изготавливаемых на его основе. Для каждой операции могут указываться оборудование, переходы, инструмент, вспомогательные материалы и режимы, являющиеся общими для всей совокупности деталей, изготавливаемых по данному ТП.

Перенос информации о типовом ТП при проектировании на его основе единичных ТП проводят, используя параметры двух типов:

- технологический передел (вид обработки);
- уникальный номер операции в типовом ТП.

Параметр «Технологический передел» — ссылочного типа: он ссылается на специально заведенный справочник переделов. Такой параметр должен иметь каждый элемент типового (группового) ТП, поскольку именно он служит тем самым признаком, который в единичных ТП отличает элементы типового ТП от остальных. Каждому технологическому переделу соответствует собственный вид комплекта документации.

Параметр «Уникальный номер операции в типовом ТП» необходим для автоматического формирования перечня операций для деталей в ведомостях (используется для групповых ТП): он подключается только к операциям ТП.

Детали, обрабатываемые по типовому ТП, группируют в виде спецификации к соответствующему элементу номенклатуры (в данном случае — к элементу справочника ТП). Для создания спецификации технологу предоставляются средства поиска, группировки и сортировки деталей по различным признакам, например, по типу покрытия.

Структуру единичного ТП определяет технолог. Используя типовые ТП, он помещает в нужные (по его мнению) места фрагменты процесса-аналога или даже процесс целиком, например, процесс нанесения гальванического покрытия. Включение фрагментов типового ТП в единичный проводят методом копирования и вставки: *Выделить все/Копировать/Вставить*. После завершения проектирования единичного ТП необходимая технологическая документация формируется автоматически.

Информация о единичных ТП хранится в соответствующей базе данных и может быть использована для формирования производственных планов и пооперационного учета их выполнения.

ТехноПро (комплекс технологического проектирования и подготовки производства). Разработчик — корпорация «Вектор-Альянс».

Комплекс ориентирован на использование в качестве технологического ядра системы автоматизированной поддержки ЖЦИ на базе CALS-технологий.

Предусмотрена поставка комплекса в трех версиях:

- ТехноПро Базовая — базовая версия для работы на локальных рабочих местах или в сетях для нескольких пользователей;
- ТехноПро Стандартная — клиент-серверная стандартная версия для работы в больших сетях с сотнями пользователей и единой SQL-базой;
- ТехноПро Основная — клиент-серверная версия с максимальными возможностями, содержит уникальные средства автоматического проектирования и создана для работы в больших сетях с сотнями пользователей и единой SQL-базой.

Здесь под SQL-базой понимают базу данных с промышленной СУБД MS SQL Server для хранения больших объемов информации.

Являясь минимальным компонентом комплекса, система ТехноПро Базовая содержит все средства, необходимые для проектирования ТП.

ТехноПро Базовая обеспечивает поддержку проектирования операционной технологии, включая заготовительные операции, операции механической и термической обработки, нанесения покрытий, слесарные операции, операции технического контроля, сборки, штамповки, сварки и др. Система формирует операционные, маршрутно-операционные и маршрутные технологические карты, ведомости оснастки, карты контроля, материалов и комплектующих, титульные листы и прочие технологические документы.

Пользователь сам определяет структуру единичного маршрутного ТП, применяя диалоговое редактирование или ТП-аналог. Широко использована конструкторско-технологическая параметризация. Параметрические ТП, названные разработчиками комплекса общими технологическими процессами (ОТП), содержат описание технологии изготовления групп, деталей без указания конкретных размеров или исполнений.

При использовании на предприятии типовых или групповых ТП ТехноПро Базовая обеспечивает возможность их параметризации. Такие параметрические ТП могут автоматически пересчитываться, причем информацию для пересчета (описание конструкции) можно получить из конструкторских САПР или вести вручную с чертежа, выполненного на бумаге.

Информационное обеспечение комплекса ТехноПро включает пять взаимосвязанных баз данных: изделий и спецификаций, конкретных (единичных) ТП (КТП), ОТП, информационной базы (ИБ), базы условий и расчетов (БУР).

Общие технологические процессы используют для параметрического проектирования, как исходный ТП-аналог, единичных, типовых и групповых ТП. В случае проектирования групповых ТП достаточно ввести в систему список деталей, для которых будет формироваться ТП, и варианты размеров или других параметров из таблицы группового чертежа.

В сформированном ТП и в операционных картах система ТехноПро автоматически создает таблицы с указанием перечня деталей и соответствующих значений технологических (выполняемых) и чертежных значений размеров или иных параметров обрабатываемых элементов. Групповые ТП могут быть спроектированы в системе ТехноПро для любых видов производства: литья, штамповки, механообработки, гальванопокрытия, окраски, термообработки и др. После формирования ТП пользователь просматривает и редактирует его в диалоговом режиме.

Интеграция ТехноПро с САПР К создает основу для одновременного (параллельного) выполнения конструкторского и технологического проектирования. Комплекс обладает интерфейсами с системами T-FLEX CAD, SolidWorks, Pro/ENGINEER, Unigraphics и др.

Для использования комплекса в интегрированных системах автоматизированной поддержки ЖЦИ предусмотрены разные варианты его взаимодействия с системами PDM и ERP. При формировании такой системы для расширения возможностей PDM или ERP в части управления технологическими данными разработаны подсистемы:

- ТехноПро/Производство — сбор любых сводных данных по спроектированным ТП и формирование документов в MS Excel;
- ТехноПро/Симас — формирование материальных спецификаций для расчета потребностей в заготовках и комплектующих;

- ТехноПро/Материалы — справочник (база данных) по материалам, сортаментам и комплектующим;
- ТехноПро/Планирование — планирование работ и ресурсов.

Интерфейс ТехноКад реализует считывание данных для технологического проектирования с электронных моделей и чертежей, выполненных в CAD/CAM-системах: SolidWorks, Pro/ENGINEER, Unigraphics, Solid Edge, CATIA, Inventor, AutoCAD, T-FLEX CAD и др.

Интерфейс ТехноКом осуществляет обмен и синхронизацию данных. Этот интерфейс настраивается «под ключ», с учетом конфигурации систем PDM и ERP на конкретном предприятии. Такой подход позволяет организовать комплексы, включающие ТехноПро и следующие системы:

- PDM — SmarTeam, Windchill, Teamcenter, Party PLUS, PDM Step Suite, T-FLEX Docs;
- ERP — Baan, SyteLine, OneWorld, Sap R/3, Scala, Mfg/Pro, Ахарта, Navision, Галактика, Омега, Бэст-Про, 1С;
- другие системы, в том числе разработанные силами предприятий заказчика.

ADEM (интегрированная CAPP/CAD/CAM система). Российский разработчик — компания Omega ADEM Technologies Ltd.

Интегрированная система ADEM, вышедшая на отечественный и зарубежный рынки в середине 90-х гг. XX в., появилась в результате научных исследований, проведенных совместно специалистами России, Израиля и Германии. Задача этих исследований состояла в определении параметров программного комплекса для автоматизации основного объема проектно-конструкторско-технологических работ для предприятий машиностроительного профиля.

Комплекс ADEM состоит из нескольких модулей:

- ADEM CAPP — система проектирования ТП, которая позволяет с различной степенью автоматизации разрабатывать единичные, групповые и типовые ТП по многим направлениям (механообработка, гальваника, сварка, сборка, термообработка и т.д.);
- ADEM CAD — инструмент конструктора, который объединяет известные методы геометрического 2D и 3D (твердотельного и поверхностного) моделирования;
- ADEM CAM — подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- ADEM Vault — электронный архив технических документов, позволяющий объединить в одном информационном пространстве работу конструкторов, технологов и других участников конструкторско-технологической подготовки производства;
- ADEM TDM — инструментальная среда, предназначенная для разработки пользовательских приложений.

В системе ADEM CAPP сделана попытка повышения эффективности технологического проектирования за счет:

- дружественного пользовательского интерфейса (представление ТП в виде дерева, контекстно-зависимое меню и др.);
- интеграции с другими модулями системы;
- использования эффективных методов и способов модификации структуры и состава ТП;
- возможности сохранения частей ТП (операций, переходов и пр.) с целью дальнейшего их использования;
- возможности использования общей для предприятия нормативно-справочной информации, актуальной в любой момент проектирования.

Входную информацию о детали, для которой проектируют ТП (обозначение, наименование, сведения о материале и др.) или импортируют из CAD-системы, либо вручную вводят с клавиатуры. Предусмотрен выбор информации из справочников базы данных системы.

Последовательность операций (маршрутный ТП) определяет пользователь-технолог. Наименования операций и оборудование выбирают из соответствующих справочников. С каждой операцией может быть связан операционный эскиз или карта наладки. Чертеж или эскиз может быть подготовлен как в системе ADEM, так и импортирован из других систем. Для этого ADEM содержит ряд встроенных конверторов (DXF/DWG, SAT, IGES, STEP и др.). Предусмотрена возможность проектирования ТП на основе типовых ТП-аналогов, путем модификации структуры и параметров последних их редактированием.

Переходы, образующие операции, условно разбиты на три группы: установочные, основные и технического контроля. Основные переходы соответствуют конкретной выбранной операции. При формировании текста перехода технолог может использовать чертеж (скалывание размеров и другой различной текстовой информации). На основе заданных или определенных по нормативам режимов резания система рассчитывает основное время на переход.

При выборе технологической оснастки используют базы данных приспособлений, вспомогательного, режущего, слесарного, мерительного (универсального и специального) инструмента.

Вся введенная и полученная в процессе проектирования ТП информация помещается в макеты технологических документов. Макеты создают в модуле ADEM CAD, поэтому для их создания и просмотра дополнительное программное обеспечение не требуется. С системой ADEM стандартно поставляется набор макетов для формирования полного комплекта документации технологического назначения в соответствии с ЕСТД.

Модуль ADEM CAM обеспечивает подготовку управляющих программ для токарных, фрезерных (с управлением по 2,5—5 ко-

ординатам, в том числе и высокоскоростных), электроэрозионных (с управлением по 2—4 координатам) и других станков с широким спектром систем управления.

TECHCARD (комплекс средств автоматизации ТПП). Разработчик — НПП «ИНТЕРМЕХ» (Республика Беларусь). Являясь системным центром компании Autodesk, НПП «ИНТЕРМЕХ» предоставляет отечественным предприятиям, кроме указанного комплекса, широкий спектр программных продуктов, в частности:

- **SEARCH** — система ведения архива технической документации предприятий и управления данными об изделиях;
- **CADMECH** — многофункциональное приложение для систем трехмерного моделирования;
- **ROTATION** — система проектирования деталей типа тел вращения;
- **LCAD** — программный комплекс автоматизации разработки технологического планирования производственных цехов и участков.

В состав комплекса **TECHCARD** для организации рабочего места технолога входят:

- САПР ТП изготовления деталей для различных видов производств (механообработка, термообработка, сварка, сборка, гальваника, окраска и т.д.);

- САПР машиностроительных чертежей для построения и оформления операционных эскизов или любых графических изображений, вводимых в технологический документ, работающая в среде AutoCAD;

- система организации и ведения архива конструкторской и технологической документации;

- база данных технологического назначения, включающая в себя нормативы времени на основные и вспомогательные работы; иллюстрированный классификатор оборудования с указанием его характеристик и размещения по цехам и участкам; иллюстрированный классификатор средств технологического оснащения с указанием их характеристик; данные об основных, вспомогательных материалах, видах заготовок и их применяемости; классификатор технологических операций и типовых переходов; справочные данные для определения параметров операционной технологии; библиотеки типовых ТП; рекомендуемые режимы резания.

Проектирование ТП выполняют в диалоговом режиме по ТП-аналогу или с использованием базы данных. Возможна организация параллельного проектирования сквозного ТП несколькими исполнителями по различным видам производства. Подбор оснастки, оборудования, материалов и исполнителей проводят в автоматизированном режиме по алгоритмам, настраиваемым пользователем. Возможна разработка типовых и групповых ТП.

Комплекс позволяет работать на отдельных специализированных АРМ (расцеховщика для создания и редактирования расцехо-

вочных маршрутов; специалистов материального и трудового нормирования; конструктора оснастки; переводчика технологических документов на иностранные языки).

Технологическая документация формируется в полном соответствии с действующими стандартами. Возможно создание любых новых форм документов и ведение архива технологической документации посредством взаимосвязи с системой SEARCH.

Комплекс интегрируется с любой системой управления и планирования, используемой или выбранной на предприятии. Он ориентирован на использование в технологических подразделениях как крупных предприятий, так и небольших производственных организаций, применяющих АРМ технологов на базе персональных компьютеров и локальных сетей. Работает под управлением промышленных СУБД Oracle/Interbase/MS SQL.

Усложнение конструкций деталей, необходимость использования в процессах формообразования управления по нескольким координатам, резкое усложнение траекторий формообразования, реализующихся на оборудовании с ЧПУ, требуют постоянного совершенствования систем автоматизированной подготовки управляющих программ (САП). На рис. 7.1 показана схема современной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ с исполь-



Рис. 7.1. Схема подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ

зованием средств автоматизации. В той или иной форме данная схема реализуется при применении практически всех САП. Рассмотрим примеры некоторых систем, использующихся в современном отечественном машиностроении.

EdgeCAM. Разработчик — ЗАО «Русская Промышленная компания». Предназначена для автоматизации подготовки управляющих программ токарных, фрезерных, электроэрозионных и других станков с ЧПУ. Реализуется на АРМ технолога-программиста с поддержкой 3D моделей деталей.

3D модель детали разрабатывает конструктор, используя программы AutoCAD, CADMECH, Inventor. По окончании разработки конструкторская документация и модель детали поступают в архив Search, находящийся на общем сервере организации. При поступлении задания на изготовление данной детали технолог-программист, используя конструкторскую документацию и 3D модель детали, разрабатывает операционную технологию и соответствующую управляющую программу в системе EdgeCAM.

По окончании работы управляющая программа по локальной сети копируется на сервер управления программ. При поступлении заготовки оператор станков с ЧПУ вызывает программу с сервера и после ее проверки и наладки станка приступает к обработке заготовки.

ГеММа-3D (система геометрического моделирования и программирования для станков с ЧПУ). Разработчик — НТЦ ГеММа.

Обеспечивает подготовку управляющих программ для токарных, фрезерных (2-, 3-координатная обработка), электроэрозионных (2-, 4-координатная обработка), гравировальных станков с ЧПУ, а также оборудования лазерной плазменной резки и листопробивной обработки. Система реализует функции обработки поверхностей по различным стратегиям, что важно для изготовления деталей по моделям, импортированным из других систем. Возможна перманентная коррекция подачи при отработке сложных траекторий с целью оптимизации условий резания и обеспечения высокого качества обработки.

ГеММа-3D работает в едином технологическом комплексе с системой КОМПАС 3D. Модель будущего изделия строится в КОМПАС 3D, а затем передается в систему ГеММа-3D, где создается программа для станков с ЧПУ на изготовление данной модели.

Интерфейс с другими системами реализован через распространенный стандартный формат IGES, который имеется практически во всех российских и зарубежных САД-системах. Этот формат позволяет передать любую геометрию, построенную в конструкторской системе. Модель, переданная в систему ГеММа-3D, без всяких доработок может служить основой для построения управляющих программ для станка с ЧПУ.

Компьютер с системой GeMMA может подключаться непосредственно к устройству ЧПУ. Система имеет собственный язык макропрограммирования GML (Gemma Macro Language), предназначенный для создания макропроцедур (макросов). С помощью макросов по желанию пользователей могут быть описаны необходимые им процедуры, не вписывающиеся в рамки уже действующей системы, например, циклы движения инструментов, не предусмотренные базовой конфигурацией системы.

Анализ состояния отечественных средств автоматизированной поддержки ЖЦИ машиностроения показывает, что отечественный рынок динамично развивается. Расширяется номенклатура средств автоматизации, постоянно растет их качество, расширяются их функции. Пользователями автоматизированных систем представляется все больше возможностей.

Разработка средств автоматизации носит все более комплексный характер. Все большее число разработчиков создает и выставляет на рынок интегрированные системы CAD/CAM/CAPP, CAD/CAM/CAPP/PDM и др. Проблема системной интеграции, создание единого информационного пространства поддержки ЖЦИ или даже управления им является одной из актуальных проблем развития современных средств автоматизации. С разрешением этой проблемы связано одно из важнейших направлений совершенствования автоматизированных систем.

Совершенствование систем происходит неравномерно. Наибольших успехов добились разработчики САПР К и САП (CAD-, CAM-, CAD/CAM-систем). На базе мощных ядер геометрического моделирования созданы весьма совершенные системы 2D-, 3D-моделирования (поверхностного и твердотельного). Проблему автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ следует считать в принципе решенной. Современные САП позволяют разрабатывать управляющие программы для 2—5-координатной обработки с визуализацией траектории относительного движения инструмента и автоматизированным контролем программы.

Вместе с тем уровень CAD-, CAM-, CAD/CAM-систем отечественной разработки пока уступает лучшим зарубежным аналогам. На отечественном рынке программных средств автоматизации зарубежные системы данных классов, несмотря на их относительно высокую стоимость, пока успешно конкурируют с отечественными. Некоторые отечественные системы используют базовое программное обеспечение от зарубежных разработчиков, например, ядра геометрического моделирования. Все это указывает на необходимость проведения постоянной работы по совершенствованию и повышению уровня рассматриваемых систем.

Значительно большее число нерешенных проблем связано с автоматизацией проектирования ТП. Практически все отечествен-

ные САПР ТП (САРР-системы) не позволяют на сегодняшний день полноценно автоматизировать разработку маршрутного ТП изготовления детали, не говоря уже о сборке. В современных САПР ТП используют в основном проектирование маршрутных ТП на основе аналогов (типовых, групповых ТП, параметризованных моделей ТП, «общих» ТП для группы деталей). Применяют различные методические подходы: уровневое представление ТП, представление ТП в виде «деревьев» и т. д. Роль технолога-проектировщика остается решающей, так как он формирует маршрутный ТП, основываясь на собственных знаниях, опыте, интуиции, предпочтениях (зачастую ошибочных). Проектное решение является субъективным.

Между тем ТП — это, в первую очередь, маршрутный ТП и сопровождающая его дополнительная информация о месте его реализации, используемом оборудовании, ожидаемых трудозатратах. Разработанный ТП является носителем информации, используемой в дальнейшем различными подразделениями предприятия для управления текущим производством, анализа и прогнозирования нового.

По-настоящему творческим является именно формирование маршрутного ТП и определение средств технологического оснащения. Все остальное — производное от этого процесса. Однако именно на этом, важнейшем этапе проектирования существующие САПР ТП практически не оказывают технологу необходимой интеллектуальной поддержки. Все последующие этапы проектирования менее сложны, но связаны со значительным объемом рутинной работы — оформлением технологической документации, составлением различных ведомостей и спецификаций. Эти функции в современных САПР ТП успешно автоматизируют.

Можно утверждать, что подавляющее большинство существующих САПР ТП (как отечественной, так и зарубежной разработки) являются системами автоматизации уровня технологической операции. Эти системы позволяют поднять производительность труда технолога за счет автоматизации рутинной работы, связанной с процессом проектирования, упорядочения взаимосвязей проектировщиков в процессе работы, предоставления широкого спектра удобных сервисных функций ведения автоматизированных архивов и т. д. Указанные факторы способствуют повышению качества труда технологов, так как упорядочивают их работу и позволяют сосредотачивать больше внимания на принятии эффективных технологических решений.

Однако основной резерв повышения качества проектных технологических решений — формирование их высокоэффективных структур, в настоящее время является неиспользованным при создании САПР ТП.

Сходство и неоригинальность используемых при разработке систем научно-методических подходов делает некоторые САПР ТП,

похожими и малоразличимыми по возможностям, что существенно снижает их конкурентоспособность.

Уровень автоматизации ряда областей технологического проектирования, например, разработки ТП сборки с выбором необходимых методов обеспечения ее качества, остается крайне низким. Некоторые системы, претендующие на автоматизацию проектирования процессов сборки, на самом деле предлагают пользователю лишь не совсем удобные текстовые редакторы с не слишком полно разработанными макетами текстов отдельных переходов и операций. Собственно проектирование ТП выполняет человек при минимальной информационно-интеллектуальной поддержке системы.

Причинами подобного состояния автоматизации технологического проектирования являются сложность поставленных проблем автоматизации; неформализуемый на сегодняшнем уровне развития методологии автоматизированного проектирования характер задач; отсутствие эффективных научно-методических подходов к их решению, а иногда и неосведомленность разработчиков о наличии таких подходов; необходимость значительных затрат на решение поставленных проблем и т. д.

Объективный ход развития техники, технологии и средств автоматизации делает решение поставленных проблем автоматизации проектирования исключительно актуальным, что и определяет основные направления совершенствования САПР ТП.

7.2. Направления совершенствования САПР ТП

Совершенствование процесса формирования технологических решений. Проектное технологическое решение — это описание технологических объектов и их взаимодействий, обеспечивающих достижение заданного множества результатов и их значений, соответствующих фиксированному множеству условий функционирования технологического объекта. Объектами проектных технологических решений, формируемых в САПР ТП, являются ТП и их элементы. Термин «формирование» указывает на многоэтапный характер рассматриваемого процесса. Особо подчеркнем, что автоматизированная система оказывает поддержку лишь процессу формирования. Принятие решения остается прерогативой человека.

Технологическое проектное решение (TR) может быть формально представлено через характеристики его объекта:

$$TR = \langle H, F, S, Z \rangle,$$

где H — множество характеристик объекта проектирования, определяющих его взаимодействие с внешней средой; F — множество

функций объекта проектирования; S — структура объекта проектирования; Z — множество параметров объекта проектирования.

Указанные множества назовем компонентами формального представления объекта проектного технологического решения. Каждое из множеств состоит из отдельных элементов (табл. 7.1), содержание каждого из которых может быть представлено значением некоторой переменной соответствующего типа.

Таблица 7.1. Компоненты представления объектов решений

Объект	Компонент	Содержание компонента
Оборудование	H	Группа, тип, наименование, модель; параметры рабочего пространства; вид и параметры соединительных поверхностей; список типов и геометрических параметров обрабатываемых поверхностей; список приспособлений и диапазоны измерения показателей качества
	F	Список реализуемых технологических методов
	S	Компоновочная схема; система координат; характеристики движений рабочих органов
	Z	Класс; мощность приводов; диапазоны изменений режимов обработки; коэффициент машино-часа; стоимость
Приспособление станочное специальной конструкции	H	Наименование операции, приспособления; модель станка; код схемы установки; габаритные размеры приспособления; вид и параметры посадочных элементов; список базовых поверхностей заготовки, их характеристики и размеры; параметры точности установки заготовки
	F	Установка и закрепление заготовки; обеспечение выполнения содержания операции
	S	Схема установки заготовки; конструкция (сборочный чертеж, спецификация, рабочие чертежи деталей)
	Z	Сила и время закрепления; стоимость и масса приспособления

Объект	Компонент	Содержание компонента
Инструмент (режущий)	<i>H</i>	Группа, тип, наименование, марка; материал и параметры посадочных поверхностей
	<i>F</i>	Реализуемый технологический метод
	<i>S</i>	Конструктивная схема
	<i>Z</i>	Физико-механические свойства материалов режущей и посадочной поверхностей
Заготовка	<i>H</i>	Характеристики геометрической формы, качества, положение поверхностей
	<i>F</i>	—
	<i>S</i>	Геометрическо-технологическая модель заготовки
	<i>Z</i>	Характеристики объемных свойств материала; масса; габаритные размеры; вид (метод) изготовления
Маршрутный технологический процесс	<i>H</i>	Данные об основном материале, исходной заготовке, вспомогательных и комплектующих материалах; коды материалов; коды единиц величин; нормы расхода; номера цеха, участка, рабочего места; код и наименование оборудования; информация об оснастке
	<i>F</i>	Содержание операции
	<i>S</i>	Номер, код, наименование операции в технологической последовательности
	<i>Z</i>	Трудозатраты
Технологическая операция	<i>H</i>	Обозначение, наименование детали; марка и твердость материала; наименование операции; модель оборудования; данные об устройстве и обозначение управляющей программы ЧПУ; вспомогательный и режущий инструмент, наладочные размеры; количество деталей в партии

Объект	Компонент	Содержание компонента
	F	Содержание переходов
	S	Номер и содержание переходов; число рабочих ходов
	Z	Норма подготовительно-заключительного времени; размеры обрабатываемой поверхности; режим обработки; основное, вспомогательное и штучное время

Проектное технологическое решение может быть получено в результате алгоритмического выполнения поставленной задачи проектирования. При этом, как правило, формируется его единственный вариант.

Методология принятия решений базируется на другом подходе. Вначале генерируют множество возможных вариантов решений, ведущих к достижению цели. Затем выполняют отбор (селекцию) возможных вариантов, часто совмещаемые с оптимизацией, в результате чего определяют единственный (оптимальный) вариант решения. Указанные процедуры выполняют на каждом этапе процесса проектирования.

ТП может быть условно представлен последовательностью (цепочкой) векторов перевода качества, начало которой находится в зоне допустимых значений входных показателей качества (I), а конец — в зоне допустимых значений выходных (O) показателей качества предмета производства (рис. 7.2). Различие вариантов 4 и 5

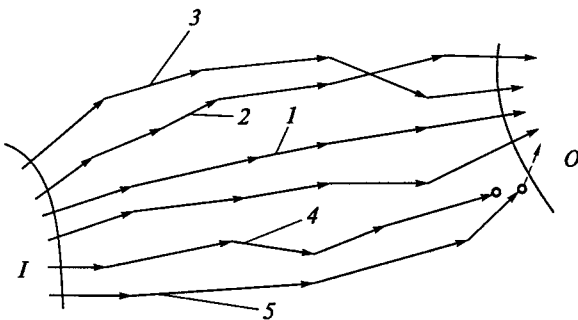


Рис. 7.2. Векторная интерпретация многоэтапного формирования проектного технологического решения:

I , O — зоны входных и выходных допустимых значений показателей качества предмета производства; 1 — идеальное решение; 2, 3 — альтернативные варианты решений; 4 — вариант, не приведший к достижению цели (решение не принято); 5 — модифицируемое на последнем этапе решение

заключается в том, что вариант 4 по завершении процесса формирования решения не привел к достижению его цели. В варианте 5 на завершающем этапе процесса формирования был найден модифицирующий (изменяющий) решение вектор, позволивший достичь поставленной цели (на рисунке показан пунктиром). Вариант 5 также является возможным вариантом, который можно рассматривать наряду, например, с вариантами 2, 3 при выборе единственного из них.

Формированию и принятию решения предшествует возникновение соответствующей ситуации. В производственной практике эта ситуация может быть связана, например, с необходимостью разработки ТП изготовления данной детали. Характеристики желаемого объекта решения (объекта проектирования, TR^I) фиксируют (иногда в неявной форме) в техническом задании на проектирование:

$$TR^I = \langle H^I, F^I, S^I, Z^I \rangle,$$

где H^I, F^I, S^I, Z^I — компоненты формального представления желаемого объекта проектирования.

Часто при описании желаемого объекта проектирования, ограничиваются лишь двумя компонентами:

$$TR^I = \langle H^I, F^I \rangle.$$

Компоненты H^I, F^I совокупно определяют цель решения. Множество H^I включает входные и выходные характеристики взаимодействия с внешней средой желаемого объекта проектирования.

При технологическом проектировании геометрическо-технологическую модель предмета производства (например, детали) считают априори известной.

Формирование проектного технологического решения можно представить в виде схемы

$$\langle H^I, F^I \rangle \rightarrow S \begin{cases} \nearrow H^O \\ \searrow Z^O \end{cases},$$

где индексом «O» помечены характеристики принятого решения.

Полностью принятое решение представляют в виде

$$TR^O = \langle H^O, F^O, S^O, Z^O \rangle.$$

Как правило, желаемое и принятое решения не совпадают (не являются тождественными), ни полностью, ни в отдельных компонентах:

$$TR^I \neq TR^O; H^I \neq H^O; F^I \neq F^O; S^I \neq S^O; Z^I \neq Z^O.$$

Вместе с тем принятое решение должно соответствовать техническому заданию как по составу, так и по значениям переменных, характеризующих объект проектирования.

Структура объекта принятого решения может быть тождественна структуре желаемого объекта или включать последнюю (т. е. быть избыточной). Достижение цели решения обычно контролируют, сопоставляя характеристики H , F , Z желаемого объекта и объекта принятого решения. С позиций оценивания результатов проектирования структуру объекта проектирования обычно не используют в качестве критерия при сравнении решений.

Если компоненты объекта принятого решения тождественны компонентам желаемого объекта решения, то решение является идеальным. Проектные технологические решения обычно носят многовариантный характер. Достижению цели решения может соответствовать множество альтернативных вариантов структуры его объекта (например, ТП). Принятие проектного решения — действие над множеством альтернатив, в результате которого вначале формируют подмножество выбранных альтернатив, а в завершении — единственный (принятый) вариант решения.

При принадлежности объектов проектных решений одному и тому же функциональному классу (например, ТП, операций) между решениями (объектами решений) могут быть определены отношения тождества, эквивалентности, подобия.

Сравниваемые решения TR_1^0 и TR_2^0 тождественны ($TR_1^0 \equiv TR_2^0$), если:

они относятся к одному и тому же объекту решения;
справедливы условия

$$H_1^0 \equiv H_2^0; F_1^0 \equiv F_2^0; S_1^0 \equiv S_2^0; Z_1^0 \equiv Z_2^0.$$

Подчеркнем, что символ тождества относится здесь к составам множеств характеристик и структуре сравниваемых объектов.

Значения элементов множеств могут различаться, но решения все равно будут считаться тождественными. На идее использования тождественности объектов проектирования основана автоматизация проектирования ТП с использованием аналогов или технологической параметризации.

Решения TR_1^0 и TR_2^0 эквивалентны ($TR_1^0 = TR_2^0$), если

$$H_1^0 \equiv H_2^0; F_1^0 \equiv F_2^0, \text{ но } S_1^0 \neq S_2^0; Z_1^0 \neq Z_2^0.$$

Пример эквивалентности решений для объекта проектирования — технологической операции показан на рис. 7.3, а.

Решения TR_1^0 и TR_2^0 подобны, если подобны характеристики взаимодействия с внешней средой и функции их объектов:

$$TR_1^0 \sim TR_2^0 \text{ при } H_1^0 \sim H_2^0, F_1^0 \sim F_2^0.$$

Иллюстрация подобия технологических решений для объекта проектирования — технологической операции показана на рис. 7.3, б.

Оценки подобия объектов проектирования могут быть определены формально. Каждому объекту проектирования может быть

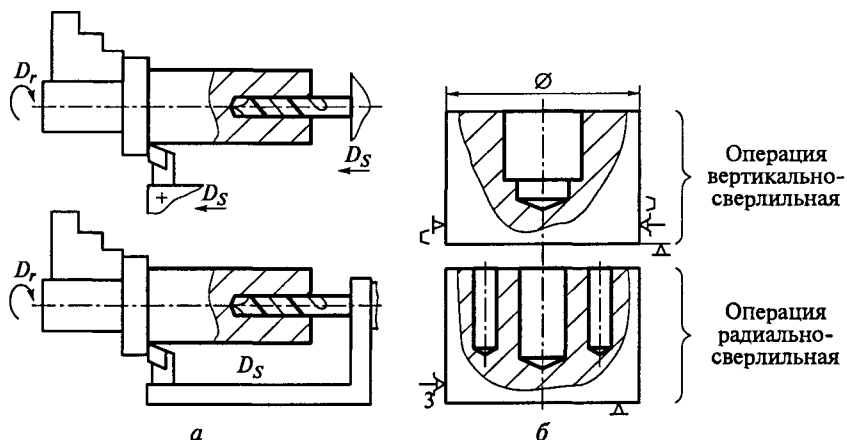


Рис. 7.3. Иллюстрация отношений проектных технологических решений:
a — эквивалентности; *б* — подобия

поставлен во взаимно однозначное соответствие информационный объект, описывающий его, например:

ПЕРЕХОД (ИДЕНТИФИКАТОР ПОВЕРХНОСТИ, ТИП ПОВЕРХНОСТИ, {РАЗМЕР}, ГРУППА ОБОРУДОВАНИЯ, ГРУППА ИНСТРУМЕНТА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД, {КОНЕЧНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА});

ОПЕРАЦИЯ (НАИМЕНОВАНИЕ, ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ, {ПЕРЕХОД});

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС (ИДЕНТИФИКАТОР, ТИП ПРОИЗВОДСТВА, КЛАСС ДЕТАЛИ, {ОПЕРАЦИЯ}).

Здесь фигурные скобки — символ множества.

Пример: объект — технологическая (токарно-винторезная) операция, содержащая два перехода — подрезку торца и точение наружной цилиндрической поверхности. Описание можно представить в виде:

ОПЕРАЦИЯ (ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНАЯ, ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЙ, ПАТРОН ТРЕХКУЛАЧКОВЫЙ, {ПЕРЕХОД (ПЛОСКОСТЬ, 65,0, РЕЗЕЦ ПОДРЕЗНОЙ, ТОЧЕНИЕ, 12, Ra 20), ПЕРЕХОД (НАРУЖНЯЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, 62, 5; 54, РЕЗЕЦ ПРОХОДНОЙ, ТОЧЕНИЕ, 12, Ra 10)}).

Каждый объект проектирования можно представить в общем виде

$$A(a_0, a_1, a_2, \dots, \{a_{ij}\}, \dots, \{a_{kl}\}, \dots, a_s),$$

где A — термин (слово), определяющий функциональный класс объекта; a_0 — идентификатор экземпляра объекта; a_1, \dots, a_s — мет-

рический или символьный атрибут (признак); $\{a_{ij}\}, \dots, \{a_{kl}\}$ — множества однородных атрибутов; i, \dots, k — идентификаторы множеств; j, \dots, l — число элементов в каждом множестве.

Конкретному экземпляру B объекта A соответствует

$$B = A(a_0^B, a_1^B, a_2^B, \dots, \{a_{ij}\}^B, \dots, \{a_{kl}\}^B, \dots, a_s^B).$$

Два различных объекта B и C одного и того же класса A тождественны, если

$$a_0^B = a_0^C; a_1^B = a_1^C; a_2^B = a_2^C; \dots; \{a_{ij}\}^B \equiv \{a_{ij}\}^C; \dots; a_s^B = a_s^C.$$

Если объекты описывают множества метрических атрибутов (т.е. множества действительных чисел), то они могут находиться в отношении подобия.

Пусть заданы экземпляры B и C объекта A :

$$B = A(a_0^B, a_1^B, a_2^B, \dots, a_m^B);$$

$$C = A(a_0^C, a_1^C, a_2^C, \dots, a_n^C),$$

где $a_1, \dots, a_m; a_1, \dots, a_n$ — атрибуты, представляемые действительными числами; m, n — число атрибутов каждого из объектов, в общем случае $m \neq n$.

Одноименные атрибуты занимают одинаковые места (позиции) в записи.

Объекты B и C подобны по метрическому (действительному) атрибуту a_i , если выполнено условие

$$|a_i^B - a_i^C| \leq d_i,$$

где d_i — значение дистанционной функции (действительное число).

Оценка подобия объектов B и C может быть получена по формуле

$$S_{BC} = \frac{2b}{m+n},$$

где b — число пар атрибутов объектов, для которых соблюдается условие подобия.

Если объекты B и C описывают множества символьных атрибутов (например, текстовыми конструкциями), то объекты считают подобными по атрибуту a_i при $a_i^B \equiv a_i^C$.

Объекты B и C подобны по множеству символьных атрибутов $\{a_{ij}\}$, если

$$\{a_{ij}\}^B \equiv \{a_{ij}\}^C, \text{ или} \\ \{a_{ij}\}^B \sim \{a_{ij}\}^C,$$

где « \sim » — символ подобия, означающий выполнение условия подобия хотя бы для одной пары атрибутов, являющихся элементами множеств $\{a_{ij}\}^B$ и $\{a_{ij}\}^C$.

Оценку подобия объектов B и C определяют по приведенной выше формуле.

Пример: пусть экземпляры B и C объекта A описываются символическими атрибутами

$$B = A(Q, U, \emptyset, T, \emptyset, R, W);$$

$$C = A(Q, M, F, T, L, R).$$

Здесь \emptyset — символ нуля.

Число атрибутов объекта B $m = 7$, объекта C $n = 6$. Пары подобных (тождественных) атрибутов: $Q = Q$; $T = T$; $R = R$, их 3 ($b = 3$). Оценка подобия объектов

$$S_{BC} = \frac{2 \cdot 3}{7 + 6} \approx 0,46.$$

Подобие ТП изготовления различных изделий называют технологическим подобием. Разработана система оценок технологического подобия (рис. 7.4) и необходимый для этого математический аппарат [9]. Можно оценивать подобие состава и структуры ТП, операций и переходов, пользуясь различными формами их представления: маршрутной, маршрутно-операционной и операционной.

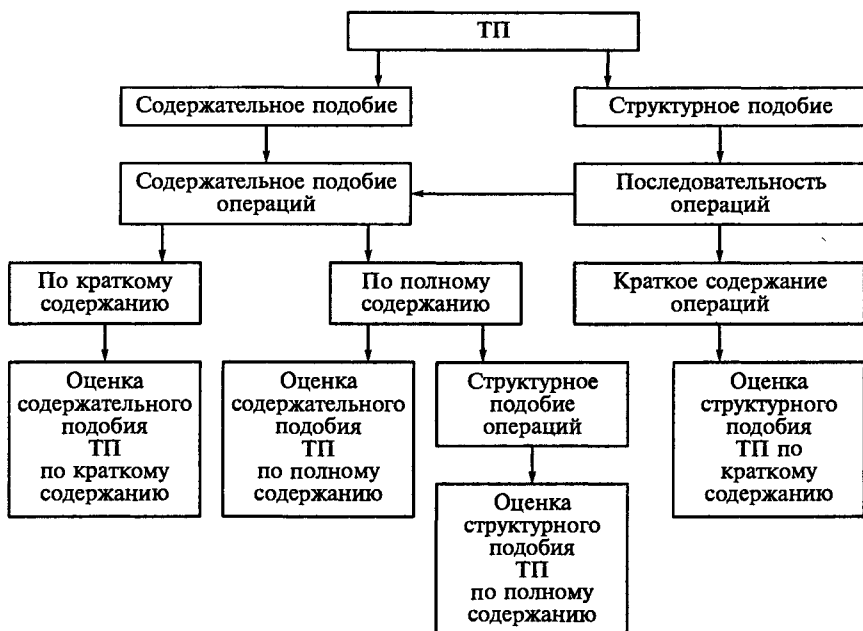


Рис. 7.4. Система оценок технологического подобия

Пример: пусть объекты *B* и *C* — маршрутные ТП изготовления деталей, представленные упорядоченными последовательностями наименований технологических операций.

Маршрутный ТП изготовления детали

B

1. Токарно-винторезная
2. Токарно-винторезная
3. Токарно-винторезная
4. Токарно-винторезная
5. Шпоночно-фрезерная
6. Вертикально-сверлильная
7. Круглошлифовальная
8. Круглошлифовальная

C

1. Фрезерно-центровальная
2. Токарно-винторезная
3. Токарно-винторезная
4. Горизонтально-фрезерная
5. Круглошлифовальная
6. Полировальная

Для сравниваемых объектов число атрибутов равно числу операций.

Оценка подобия состава ТП как списков операций

$$S_{BC} = \frac{2 \cdot 3}{8 + 6} \approx 0,43.$$

Оценка подобия структуры ТП учитывает не только подобие (тождественность) атрибутов, но их положение в списке, в частности, связи (отношении) предшествования. В данном примере она совпадает с оценкой подобия состава.

Для деталей, относящихся к одному классу (группе) по принятому технологическому классификатору, значения оценок подобия состава ТП обычно в пределах 0,63... 0,83. Для деталей различных классов и групп оценки технологического подобия составляют 0,45 и менее.

При использовании принятого технологического классификатора деталей для создания типовых ТП и применения их в дальнейшем в качестве процессов-аналогов, изменение последних будет охватывать не менее 15... 35 % входящих в них операций. Создание баз ТП-аналогов на основе высоких значений оценок подобия позволит повысить эффективность автоматизированного проектирования с использованием ТП-аналогов. Это же позволяет создавать более достоверные параметризованные модели ТП и их элементов.

При многоэтапном формировании проектных решений, например, при автоматизированном синтезе маршрутных ТП использование оценок подобия позволяет на каждом этапе проектирования сохранять достаточное число альтернативных вариантов при экономии ресурсов технических средств.

При реализации спроектированного ТП в производстве часто возникает необходимость поиска эффективного продолжения ТП,

например, в случае отказа предписанного в нем оборудования. Оценки подобия технологических возможностей оборудования позволяют быстро найти нужную группу взаимозаменяемого оборудования.

Проектирование ТП всегда выполняют для их последующей реализации в производстве. Оценки подобия могут быть использованы для определения технологического потенциала (возможностей) производственной системы. Еще до начала проектирования единичного ТП может быть получен ответ на вопрос — целесообразно ли в принципе изготовление данного изделия в производственной системе при имеющихся ресурсах?

Известны и другие приложения технологического подобия, использование которых способствует повышению эффективности автоматизированного проектирования ТП [9].

Автоматизация выбора технологических баз. Выбор технологических баз — важнейший этап проектирования ТП. В современных САПР ТП он практически не автоматизирован — принятие необходимого решения полностью возлагается на пользователя. Общеметодический подход к автоматизированному выполнению данной задачи рассмотрен в подразд. 2.5. Сложность заключается в следующем:

- система должна «опознавать» заготовку как единый (целостный) объект в любом из ее промежуточных состояний. При этом каждая из поверхностей заготовки должна быть идентифицируема — должен существовать ее уникальный номер (маркер) и возможность определения всех ее конструктивно-технологических характеристик, необходимых для выбора баз;

- база данных о текущем состоянии заготовки должна быть динамической. В ней должны фиксироваться любые изменения состояния любой из поверхностей (изменения размеров вследствие снятия материала; появление новых поверхностей; изменения показателей качества и т. д.). В базе должны автоматически появляться новые записи (соответствующие вновь сформированным поверхностям заготовки) при сохранении принятой системы идентификации поверхностей;

- должен быть организован автоматизированный отбор вариантов СУ заготовки с целью обеспечения заданного качества обработки.

Множество поверхностей (I_p) заготовки в ходе ТП изготовления детали непрерывно расширяется. Для любой операции (n_o) процессов изготовления детали справедливо:

$$(I_p)_{n_o} = (I_o)_{n_o} \cup (I_n)_{n_o},$$

где $(I_o)_{n_o}$, $(I_n)_{n_o}$ — подмножества обрабатываемых и необрабатываемых в операции n_o поверхностей соответственно.

Элементы подмножества поверхностей, которые в принципе могут быть использованы как базовые, являются элементами подмножества (I_H).

Для каждого макета операции (кроме первой) и каждого элемента соответствующего множества (списка) схем установки $\{СУ\}_{mk}$ (см. подразд. 2.5) определяют различные сочетания (кортежи) необрабатываемых в этой операции поверхностей заготовки, которые можно использовать как базовые поверхности и поверхности закрепления.

В первой операции ТП используют (и только один раз) в качестве базовых необработанные поверхности заготовки. Во второй и последующих операциях заготовку устанавливают на полустовые и чистовые базы. Базовые поверхности должны быть сформированы в операциях, предшествующих выполняемой.

Определение варианта СУ для первой операции (при действии принципа концентрации переходов) основано на положении: выбранный вариант СУ, являясь элементом списка СУ, возможных для реализации, должен обеспечивать возможность обработки (доступа) для максимально возможного числа поверхностей из их множества (I_0)₁, запланированных для обработки в первой операции.

Выбранный вариант СУ в сочетании с кортежем базовых поверхностей заготовки оказывают существенное влияние на разделение подмножеств I_0 и I_H .

При разделении указанных подмножеств (определении зон возможной обработки) учитывают группу, тип оборудования и ориентацию его рабочего пространства.

На рис. 7.5 показано, как изменяются зоны возможной обработки заготовки в токарно-винторезной операции при одной и той же СУ, но различном составе базовых поверхностей. Поверхности, находящиеся в заштрихованных зонах, в принципе обработаны быть не могут, они относятся к подмножеству необрабатываемых в операции n_0 поверхностей (I_H) _{n_0} . Установку заготовки в соответствии с рис. 7.5, б отличает большая жесткость технологической системы и потенциально более высокое, чем в варианте рис. 7.5, а, качество. Однако при этом размеры зоны возможной обработки существенно сокращаются. Конкретные значения параметров, определяющих размеры зон обработки, могут быть заданы пользователем системы.

Общее решение задачи разделения подмножеств обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей заготовки затруднительно, поэтому при разработке САПР ТП возможно использование комплектов частных решений для отдельных групп и типов оборудования на основе ряда упрощающих допущений.

Любые две поверхности, взятые из макета операции, могут быть обработаны при одном установе заготовки, если тождественны

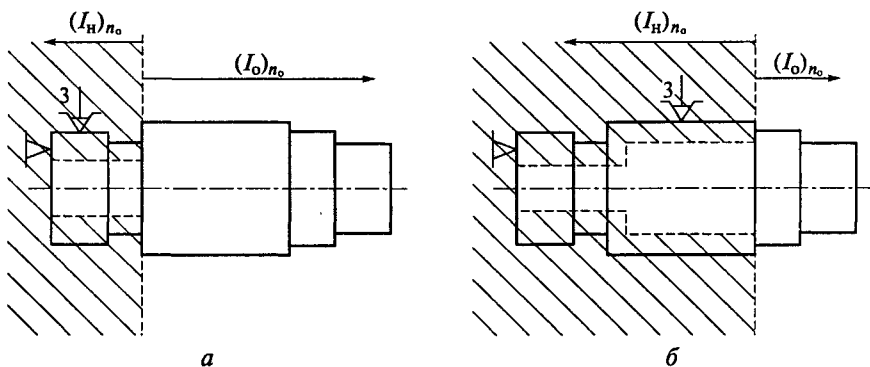


Рис. 7.5. Изменение зон возможной обработки в зависимости от состава (а), (б) базовых поверхностей заготовки в токарно-винторезной операции (заштрихованы зоны необрабатываемых поверхностей)

используемые при этом СУ, кортеж базовых поверхностей и тип приспособления.

Последовательно определяя для каждой формируемой операции СУ и порядок их смены, формируют структуру ТП или корректируют его макет [9].

Для определения возможных СУ заготовок, типов и моделей приспособлений может быть с успехом использован аппарат семантических сетей. На рис. 7.6 показан соответствующий фрагмент семантической сети, графически иллюстрирующий связь используемых при определении модели универсального приспособления понятий — объектов. В скобках показано, что каждому понятию соответствует множество параметров, в зависимости от значений которых и формируется итоговый результат.

Выбор технологических баз может быть автоматизирован путем создания одноименного модуля в составе САПР ТП.

Прогнозирование качества изделия. Основной целью проектирования ТП является гарантированное при его реализации достижение заданного качества изделия. Ни одна из существующих САПР ТП не обладает возможностью прогнозирования ожидаемого качества изделия при реализации проектных решений, сформированных с ее помощью. Более того, прогнозирование ожидаемого качества не выполняют и при неавтоматизированном (традиционном) проектировании ТП. Однако, если в последнем случае отсутствие прогнозирования ожидаемого качества объяснимо физической невозможностью выполнения необходимых расчетов, то в САПР ТП такая возможность существует. Ее нереализованность может быть объяснена отсутствием необходимого для этого математического аппарата.

Сквозной ТП, в результате выполнения которого формируются свойства изделий машиностроения, объединяет ряд последователь-

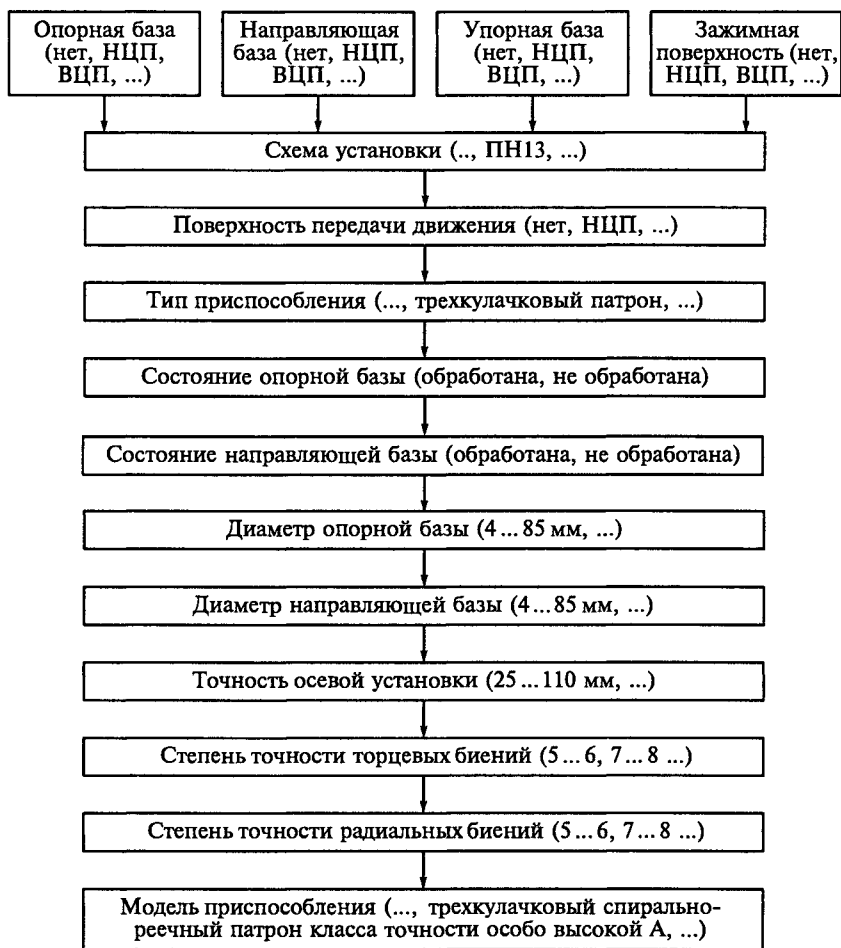


Рис. 7.6. Фрагмент семантической сети при выборе модели универсального приспособления:

НЦП — наружная цилиндрическая поверхность; ВЦП — внутренняя цилиндрическая поверхность

ных технологических переделов: изготовление исходного материала, заготовительный, изготовление деталей, сборочный. Свойства изделия, формирующиеся в ходе сквозного ТП разделяют на квазистабильные и изменяющиеся. Квазистабильные свойства «зародившись» на соответствующем переделе, в дальнейшем не испытывают прямых технологических воздействий, изменяющих значение соответствующих им показателей качества. Примером таких свойств могут служить прочностные свойства материала детали в ходе ТП, не подвергавшейся упрочнению. Изменяющиеся свойства трансформируются в результате прямых технологических воздействий.

Показатели выходного качества изделия включают квазистабильные показатели, сформированные на заготовительном переделе и переделе изготовления деталей, а также показатели качества, сформированные при сборке изделия.

При принятии проектных технологических решений важно определить желательные (или даже оптимальные) уровни свойств, формирующихся на отдельных переделах.

Установить уровень свойства — значит определить ожидаемый (допустимый) диапазон изменения значений, характеризующих это свойство показателей качества. Применение изложенной в подразд. 4.1 модели трансформации свойств позволяет решить эту задачу.

В частности, для показателей качества, формирующихся при изготовлении исходной заготовки, справедливо

$$K_C^3 = S_C^3 K^M + k_C^{3M} K^M,$$

$$K_V^3 = S_V^3 K^M + k_V^{3M} K^M,$$

где K_C^3 — значение показателя качества, характеризующего квазистабильное свойство; K^M — значение показателей качества, сформированное при изготовлении исходного материала; K_V^3 — значение показателя качества, характеризующего изменяющееся свойство, впервые сформированное на заготовительном переделе; S_C^3 , S_V^3 — коэффициенты изменения соответствующих свойств; k_C^{3M} , k_V^{3M} — коэффициенты сохранения и взаимного влияния свойств, сформированных при изготовлении исходного материала (м), но влияющих на свойства, формируемые на заготовительном переделе (з).

Учитывая рекуррентный характер используемой модели трансформации свойств, аналогичные соотношения могут быть получены и для показателей качества, формирующихся при изготовлении деталей и сборке машины.

Можно в принципе получить соотношение, связывающее значения конкретного показателя качества предмета производства, после выполнения сборки (K^C) и при изготовлении исходного материала (K^M):

$$(K^C)^* = (H^{сдз})^* K^M,$$

где $(H^{сдз})^*$ — коэффициент трансформации свойства в сквозном ТП его изготовления; знак «*» показывает, что коэффициенты определены для любых составляющих свойств (показателей качества).

Для каждого показателя качества может быть найдено значение коэффициента его трансформации в ходе ТП изготовления изделия $(H^{сдз})^*$. Естественно, что последнее выражение описывает только макросоотношения свойств и не учитывает, например, особенности формирования (зарождения) новых свойств элементов изделия. Распределение уровней свойств изделий между отдельными этапами ТП изготовления изделий связано, прежде всего, с раз-

делением общих коэффициентов трансформации свойств $(H^{сдз})^*$ на составляющие $(H^c)^*$, $(H^d)^*$, $(H^z)^*$ для каждого передела:

$$(H^{сдз})^* = F[(H^c)^*, (H^d)^*, (H^z)^*],$$

где F — функционал взаимосвязи.

Для любой (N -й) операции или группы операций могут быть получены соотношения вида

$$K_N = H_N K^M,$$

где K_N — значение сформированного после N -й операции показателя качества; H_N — коэффициент трансформации свойств изделия по отношению к исходным (K^M) .

При известных структуре процесса и параметрах трансформации свойств для каждой операции можно определить закономерности трансформации свойств для всего формируемого ТП. Введя необходимые критерии, можно решать задачи оптимизации значений показателей качества для каждого этапа (операции) ТП.

Распределение уровней свойств по технологическим переделам эффективно при наличии необходимого информационного обеспечения, содержащего количественные данные о трансформации свойств в каждом переделе. Вместе с тем не меньшую значимость при принятии технологических решений имеет объективное распределение уровней показателей качества по отдельным этапам ТП внутри одного или даже между отдельными технологическими операциями. В частности, так может формироваться информационная основа синтеза маршрутных ТП — маршруты обработки основных поверхностей.

Предложенный методический подход в принципе позволяет решать задачи прогнозирования достижимых при реализации ТП значений показателей качества изделия. Совершенствование математического и информационного обеспечения будет способствовать повышению надежности прогнозирования.

Направленное формирование свойств изделий. Автоматизация синтеза структур маршрутных ТП, например, изготовления деталей машин позволит полноценно реализовать концепцию направленного формирования свойств изделий [9]. Данная концепция базируется на представлении формирования показателей качества изделий при их изготовлении совокупностью процессов изменения и сохранения свойств предмета производства.

Изменение свойств связано с воздействием на предмет производства технологических сред уровней отдельных операций, а сохранение свойств обусловлено взаимодействием предмета производства со средами технологических процессов.

Отличительной особенностью предложенной концепции, принципиально отличающей ее от существующих, является то, что при принятии необходимых для изготовления изделий технологических

решений учитываются возможные изменения значений всей совокупности показателей качества, а не некоторых из них. Последнее возможно только при использовании современной вычислительной техники, информационных и CALS-технологий, что является одним из основных условий реализации концепции.

Предложенный подход к формированию технологических решений ориентирован на использование в автоматизированных системах поддержки ЖЦИ машиностроения. Использование даже некоторых из разработанных методик формирования технологических решений (в частности, технологического подобия) позволяет сократить длительность производственного цикла и затраты на реализацию проектных решений не менее чем на 10... 15 %.

Принципиально возможно в зависимости от заданных условий эксплуатации и эксплуатационных свойств изделий формировать оптимальные технологические среды, что позволит изменять свойства предмета производства в желаемом направлении.

Предложенная концепция ориентирована на применение в первую очередь при производстве сложных наукоемких изделий машиностроения. Ее полноценная реализация позволит вооружить отечественное машиностроение мощным средством повышения качества и конкурентоспособности продукции.

Интеграция САПР ТП в системы поддержки и управления ЖЦИ. Проблема объединения автоматизированных систем, обеспечивающих поддержку отдельных этапов ЖЦИ, в интегрированную систему поддержки и управления ЖЦИ исключительно актуальна. Основным инструментом ее реализации являются CALS-технологии.

В основе концепции CALS-технологий лежит использование единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), обеспечивающего единообразные способы информационного взаимодействия всех участников ЖЦИ: заказчиков, поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала.

Многие фирмы — разработчики средств автоматизации уже сегодня выпускают программные комплексы, ориентированные на использование в интегрированных системах поддержки ЖЦИ. Это, например, CAD/CAM/CAPP/PDM-системы.

Через PDM-систему осуществляется связь с системами управления предприятием. Развитие концепции поддержки ЖЦИ привело к идее построения комплексов программных продуктов, призванных обеспечить «прозрачность» и управляемость всех процессов, которые сопровождают любое изделие: маркетинга, проектирования, производства, эксплуатации и утилизации. Такие автоматизированные системы называют PLM-системами, или системами управления ЖЦИ. Программные комплексы, в которых в той или

иной мере реализована высказанная идея, иногда называют системами высокого уровня.

Внедрение PDM-систем подразумевает автоматизацию всех процессов, связанных с проектированием. Внедрение PLM-систем должно осуществляться в условиях автоматизации всех остальных процессов, имеющих отношение к изделию. Система управления ресурсами (ERP) охватывает сопутствующие направления (маркетинг, финансы, управление информационными и материальными потоками) и обеспечивает связь с непосредственным производством.

На машиностроительных предприятиях объединяющие информационные системы внедряют поэтапно. Создание PLM-систем практически невозможно без отлаженной методологии и опыта эксплуатации CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM-систем в технических подразделениях и ERP-систем в хозяйственно-экономических службах.

При внедрении комплексов программ проектирования и подготовки производства необходимо ориентироваться на интегрированные решения, в которых технология единого информационного пространства обеспечивается за счет связи отдельных модулей посредством внутренних программных механизмов.

Если поставщик предлагает различные модули, которые либо вообще не связаны между собой, либо могут обмениваться информацией (чертежами, 3D-моделями, информацией о ТП, управляющими программами ЧПУ и др.) только через стандартные форматы обмена, это значит, что реализуемая информационная цепочка будет разорвана. Предприятие непременно столкнется с потерей данных, с необходимостью их повторного ввода и перекодировки. Это не только напрямую отразится на показателях экономической эффективности, но и сделает невозможной или трудноосуществимой саму идею организации единой PLM-системы.

При выборе САПР ТП для использования на машиностроительном предприятии следует отдавать предпочтение системам, входящим в интегрированные комплексы. Даже при поэтапном оснащении рабочих мест должна быть уверенность, что вновь приобретаемые модули станут частью единой системы, а программные продукты обеспечат решения сегодняшних задач предприятия и тех задач, которые встанут перед предприятием в будущем. Для этого у предприятия должен быть план собственного развития. Решение о приобретении отдельных модулей для интегрированных систем следует принимать с учетом экономических критериев, например, «полезный эффект (функциональность)/затраты». Учитывают затраты на обучение специалистов и техническую поддержку, а также стоимость и возможность доработок систем в процессе внедрения, поскольку редко бывает, что все модули программного комплекса идеально подходят для конкретного пред-

приятия. Следует отдавать предпочтение решениям, которые уже длительное время существуют на рынке, динамично развиваются и успешно используются на других предприятиях.

Более подробно различные аспекты автоматизации поддержки и управления ЖЦИ изложены, например, в [15].

Внедрение новых методологий проектирования. Необходимость обеспечения высокого качества конструкторско-технологического проектирования сложных изделий при сокращении времени проектирования привела к разработке новых методологий проектирования.

Одной из таких методологий, получивших в последнее время широкое распространение в промышленно развитых странах, является методология Concurrent Engineering (СЕ-проектирование). В ее основе лежат принципы:

- **единовременность** — выполнение взаимосвязанных задач в одно и то же время при максимальном использовании преимуществ управления взаимосвязанной деятельностью;
- **интеграция** — связывание процессов через общее управление или отчетную информацию, либо управление независимыми заданиями;
- **предвидение последствий** проектных решений начального этапа проектирования для ЖЦИ.

СЕ-проектирование позволяет в значительной мере совместить процессы формирования конструкторских и технологических решений и существенно сократить длительность технической подготовки производства (рис. 7.7).

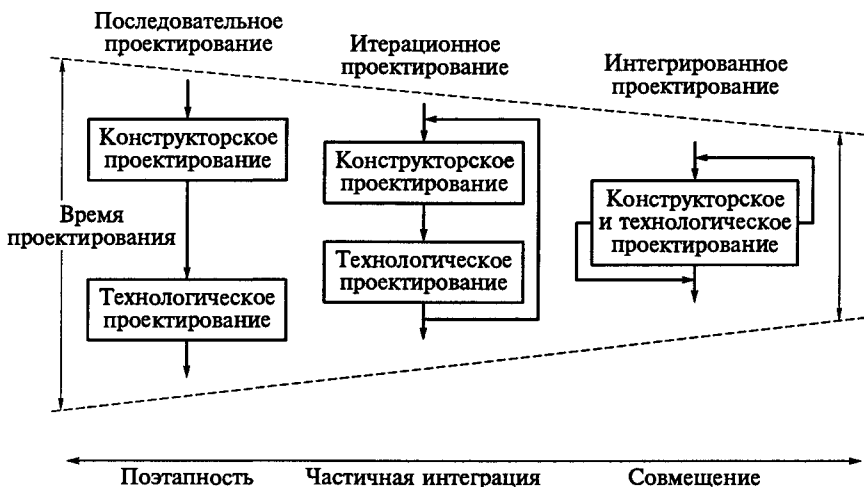


Рис. 7.7. Развитие методологии проектирования

Эффективному внедрению SE-проектирования в производство способствует выполнение трех основных условий:

- создание междисциплинарных рабочих групп, включающих специалистов разного профиля (конструкторов, технологов, маркетологов и т.д.), объединенных общей целью — созданием конкурентоспособного изделия;
- организация работы всех участников групп в локальной сети с обменом информацией через общую базу данных в соответствии с уровнями доступа;
- разработка автоматизированных, CALS-совместимых средств, обеспечивающих поддержку формируемых проектных решений в соответствии с фирменным стилем предприятия.

При создании междисциплинарных групп должны быть разработаны и утверждены соответствующими нормативными документами процедуры принятия решения.

На сегодняшний день SE-проектирование не обладает процедурной частью, достаточной для ее эффективного внедрения в отечественном машиностроении. Вместе с тем в мировой практике известен ряд успешных и полноценных реализаций SE-проектирования, позволяющих, в частности, сократить длительность производственно-технологического цикла изготовления наукоемких изделий на 35... 50 %.

Одним из направлений реализации SE-проектирования является методология DFMA (Design for Manufacture and Assembly), базирующаяся на методиках:

- проектирования с учетом требований сборки DFA (Design for Assembly);
- проектирования с учетом требований изготовления деталей DFM (Design for Manufacture);
- проектирования с учетом требований конкурентоспособности DFC (Design for Competitiveness).

Каждая из указанных методик реализована в соответствующих экспертных компонентах (рис. 7.8). Целью их применения является упрощение конструкции изделия исходя из структуры ТП его сборки и изготовления деталей. Модуль автоматизированного проектирования ТП сборки СААР (Computer Aided Assembly Process Planning) на основе модели сопоставляющих элементов собираемого изделия, импортируемых из модуля CAD, генерирует последовательность сборки. В результате анализа этой последовательности в модуле DFA формируют предложения по изменению конструкции составляющих элементов изделия, которые сразу же учитывают.

После анализа непротиворечивости процесса сборки изделия в модуле DFM выполняют анализ конструкции с позиций ее соответствия требованиям, предъявляемым при изготовлении деталей. Возможные изменения вводят в модуль CAD. Альтернативные проекты разрабатываемого изделия, сгенерированные во время ана-

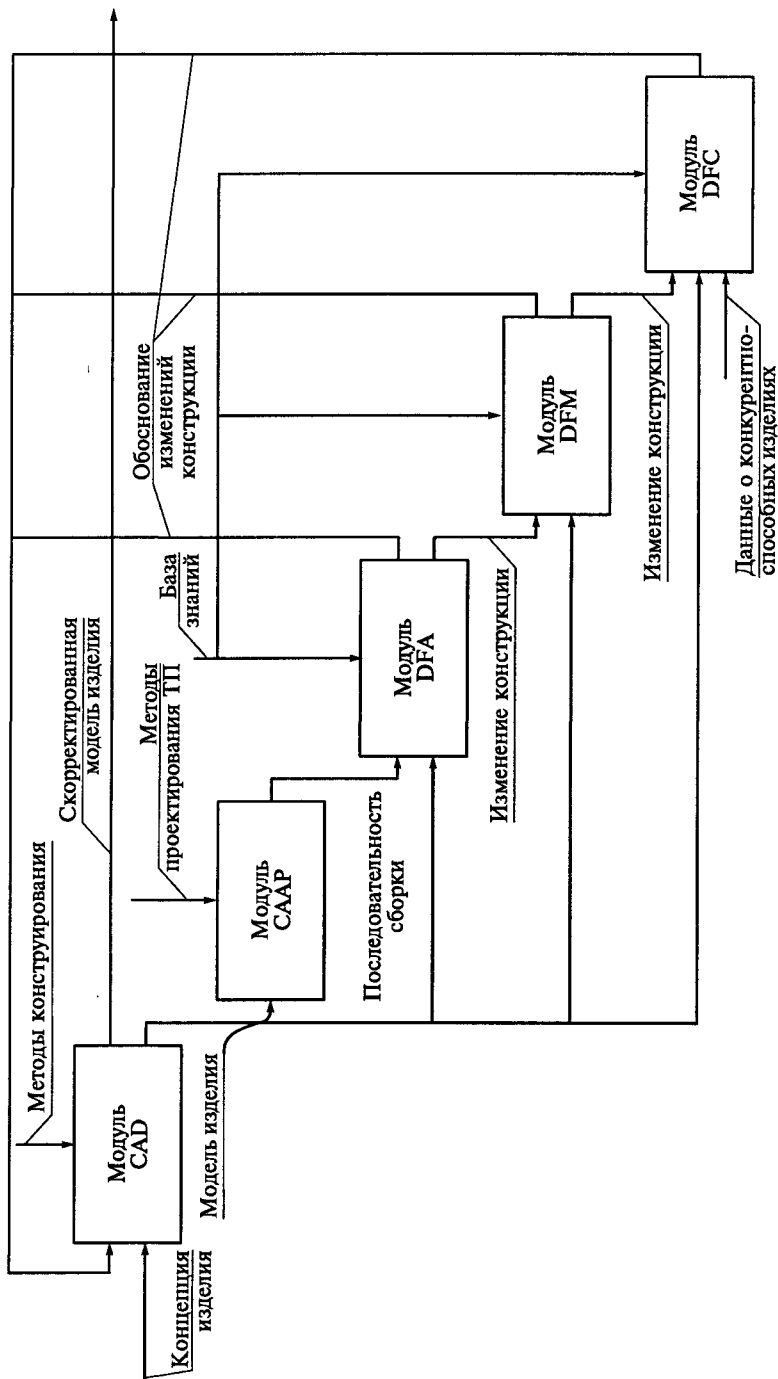


Рис. 7.8. Проектирование изделий по методологии DFMA

лизов DFA и DFM, далее при помощи модуля DFC сравнивают между собой, а также с данными конкурентных изделий. При анализе используют развитую базу знаний, единую для всех модулей анализа системы.

В модуле СААР определяют наиболее целесообразную с позиций сборки технологическую структуру машины — иерархический порядок сборочных единиц и деталей. По своей сути модули DFA, DFM, DFC обеспечивают отработку конструкции на технологичность, выполняемую не только с позиций изготовления машины, но и с учетом характеристик ее жизненного цикла.

Практическая реализация данной методологии и создание соответствующих средств автоматизации являются делом будущего.

7.3. Разработка САПР ТП

Разработку САПР ТП можно рассматривать как процесс создания и непрерывного совершенствования указанных ранее систем. В настоящее время основными разработчиками САПР ТП являются специализированные организации. Системы поставляются на рынок как программные (программно-технические, программно-методические) комплексы.

Внедрением, эксплуатацией и модернизацией подсистем и компонентов САПР ТП на предприятиях, как правило, занимаются специализированные подразделения — отделы (службы) САПР, включающие группы специалистов соответствующих профилей при тесном взаимодействии с разработчиками САПР ТП. Развитие системы осуществляют силами специалистов предприятия с привлечением специалистов-разработчиков, а при необходимости специалистов других организаций, например научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений.

Принципиально важным является подбор группы специалистов — непосредственных разработчиков САПР ТП. Техническое руководство группой должен осуществлять специалист, имеющий базовое технологическое образование, обладающий глубокими знаниями в области технологии машиностроения. Разработку проекта системы, необходимых моделей и спецификаций должны выполнять специалисты-технологи, возможно с привлечением консультантов из промышленности, исследовательских организаций технологического профиля или высших учебных заведений. Программно-техническую реализацию системы осуществляют специалисты-программисты. Тестирование и доводку системы выполняют совместно специалисты-технологи и специалисты-программисты.

Стремление к экономии при создании системы, выражающееся в привлечении к ее разработке лиц, не обладающих достаточ-

ными знаниями и опытом, оборачивается в дальнейшем снижением уровня разработки и потерей ее конкурентоспособности.

Растущие потребности производства в высокоэффективных средствах автоматизации поддержки технологических решений сделали актуальной проблему формирования специалистов-технологов, обладающих глубокими знаниями и профессиональными навыками в области практического использования современных информационных технологий и средств вычислительной техники.

Для организации — разработчика САПР ТП создаваемая система является изделием, для которого характерно прохождение (с учетом специфики) всех основных этапов его жизненного цикла.

На этапе маркетинга исследуют состояние рынка САПР ТП. Целью исследования является определение наиболее актуальных потребностей рынка, основных тенденций развития САПР ТП и научно-методических концепций, реализованных в имеющихся системах. Информацию о принципах построения, структуре, реализованных функциях, опыте эксплуатации, технико-экономических характеристиках существующих САПР ТП тщательно анализируют и обсуждают. В результате определяют основные характеристики конкурентоспособной САПР ТП и основные (концептуальные) принципы ее построения. Устанавливают ориентировочные сроки и стоимость создания системы. Естественно, что стремятся разработать систему в минимальные сроки, иначе ее рыночную «нишу» могут занять конкуренты. Завершают данный этап жизненного цикла изделия оформлением технического задания на разработку системы.

Техническое задание — основной обязательный документ, с создания и согласования которого начинают разработку САПР ТП. Этот документ определяет содержание проекта и основные требования к разрабатываемой системе, условия приемки и оценку ее пригодности для эксплуатации, т. е. завершение разработки. Техническое задание оформляют в соответствии с требованиями стандартов и предусматривают в нем следующие основные разделы.

1. Наименование и область применения. В этом разделе конкретно указывают основные функции, которые должна выполнять разрабатываемая система. Например: «Система автоматизированного проектирования ТП изготовления деталей обеспечивает:

- проектирование в диалоговом режиме единичных маршрутных ТП изготовления деталей по ТП-аналогу;
- проектирование операционной технологии, включая в себя: определение состава и последовательности технологических переходов; выбор режущего инструмента стандартной конструкции; выбор режимов механической обработки для методов точения, фрезерования, сверления, шлифования...».

2. Характеристика системы, как объекта. Указывают, что должна представлять собой физическая реализация САПР ТП (пакет

прикладных программ, программный комплекс, программно-технологический и программно-методологический комплекс), а также ее основные подсистемы (модули).

3. Цель и структура разработки. Представляют обобщенную структурную модель разрабатываемой системы с указанием взаимосвязей ее основных подсистем или элементов. В общем виде описывают взаимодействия элементов, указывают содержание входной информации, необходимой для работы системы и способ ее ввода. Например: «...модель заготовки в виде трехмерного объекта импортируется из модуля САД...»; «...общие технические требования на изготовление детали вводятся с клавиатуры АРМ технолога...». Отражают новые методические решения, реализуемые в разрабатываемой системе.

4. Технические требования САПР ТП к обеспечению:

- **техническому.** Указывают состав, конфигурацию и характеристики основных технических средств, на которых реализуется система. Например: «...основу технического обеспечения АРМ технолога составляет персональный компьютер: платформа Intel Pentium 4; процессор Pentium 4 1700; материнская плата Gigabyte GA-8IE800; жесткий диск ATA100, 20Gb5400; оперативная память DDR PC1200, 256 Мбайт, дисковод FDD»;

- **информационному.** Для программных комплексов указывают необходимый состав баз данных, использующихся разрабатываемой системой при эксплуатации. Например, база данных «Параметры детали (заготовки)»; базы данных «Основное оборудование», «Стандартный режущий инструмент» и т.д. Структуру баз, число атрибутов объектов, способ организации данных, применяемую СУБД, степень заполненности (число записей в базе) определяет разработчик системы. Если система разрабатывается под конкретного заказчика, разработчик может согласовывать информационное обеспечение САПР ТП с заказчиком. Аналогичные ситуации возникают при адаптации программных комплексов к условиям эксплуатации конкретного предприятия;

- **программному.** Указывают операционную систему, а также наименование базовой среды программирования и ее версию. Раскрывают состав программного обеспечения разрабатываемой системы. Например: «графический редактор для создания трехмерных объектов; интерфейс экспорта данных в базу...; текстовый редактор параметризованных моделей операций...». Состав и уровень программного обеспечения, а также выбор средств автоматизации программирования определяет разработчик САПР ТП;

- **организационному.** Кроме разработки комплекса необходимых документов, технического задания, подробно описывают процедуру сдачи-приемки разработки (как внутри организации-разработчика, так и для внешних заказчиков). Приемку САПР ТП проводят по результатам прохождения тестовых примеров, содер-

жание которых определяет заказчик по согласованию с разработчиком.

5. Стадии и этапы разработки. Представляют календарный план (бизнес-план) работ по созданию САПР ТП с указанием номеров этапов последних, содержания, сроков выполнения для каждого из этапов, стоимости, форм и видов отчетности. Выполнение каждого этапа разработки САПР ТП тщательно документируют в соответствии со стандартами Единой системы программной документации. Заказчик (покупатель) системы может установить особые требования к ней, как по оформлению, так и по ее специализации и адаптируемости к конкретным условиям.

Начальному этапу разработки САПР ТП соответствует уточнение концепции построения системы и создание ее концептуальной модели.

Концептуальная модель определяет основные функции разрабатываемой системы и их взаимосвязи. При ее создании для разрабатываемой САПР ТП определяют:

- предметную область;
- основные функции;
- основные задачи, решаемые при выполнении выделенных функций;
- состав входной и выходной информации;
- основные информационные связи выделенных функций.

Под предметной областью понимают область знаний, используемых при формировании системой проектного технологического решения. Иногда под предметной областью понимают специализацию (проблемную ориентированность) системы на формирование объектов проектирования определенного вида. Например, САПР технологических операций токарной обработки. По возможности предметная область системы должна быть узкой (локальной). При локализации предметной области выделяют из имеющейся совокупности знаний об объекте проектирования те знания, которые являются необходимыми и достаточными для принятия решений. Выполняют системное исследование объекта проектирования и используемых при его проектировании неавтоматизированных и известных автоматизированных методов и приемов. Выделяют ту информацию, которая используется при формировании объекта, и определяют совокупность основных понятий (понятийный аппарат) разрабатываемой системы. Определение предметной области системы и ее структуры является самостоятельным, сложным, творческим этапом проектирования. Часто для этого используют семантические сети.

Одним из основных современных методов, используемых при разработке моделей различных автоматизированных систем поддержки решений, является метод структурного анализа, представленный в CALS-стандарте FIPS PUB 183 (IDEFO). В научно-техни-

ческой литературе данный метод именуют также методом Росса, методом SA-диаграмм, SAD, SADT.

Метод предполагает последовательную детализацию проектируемой системы «сверху вниз». Выделяют различные уровни рассмотрения анализируемой (проектируемой) системы. На каждом уровне представляют разложение анализируемой системы, более детализированное, но полностью эквивалентное предшествующему уровню. При этом рассматривают не только систему, но и окружающую ее среду, также подвергающуюся последовательной детализации вместе с системой. Графическое и текстовое описание структурированной системы в виде необходимых схем и пояснений к ним образуют модель системы, отображающую последнюю с определенной точки зрения. Для полного описания системы разрабатывают несколько моделей, между которыми устанавливают взаимосвязи.

Объектом анализа может быть проектируемая система (на верхнем уровне), либо ее часть (на более низких уровнях разложения). Объект анализа на схеме изображают прямоугольником (рис. 7.9). Среда изображается стрелками (вход, выход, управление и механизм), направленными к прямоугольнику, либо от него. Объекты анализа бывают двух типов: предметы и операции (виды деятельности). Если объект анализа — предмет, то операции образуют его внешнюю среду. Так, в случае анализа программных средств в качестве предметов рассматривают данные, а в качестве операций — преобразования над данными. При этом объектом анализа могут быть данные в среде преобразования или преобразования в среде данных. Объекту анализа присваивают наименование, размещаемое внутри прямоугольника. Наименование (не имя!) должно быть кратким и точным. Для операции наименование начинается с глагола, для предметов с существительного. Допускается наименование операции — объекта анализа начинать не с глагола, а с существительного, характеризующего ее содержание: «проектирование», «выбор», «поиск» и т. д.

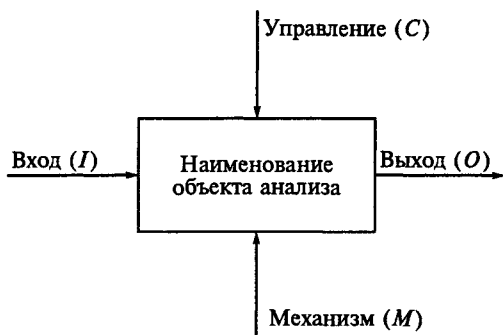


Рис. 7.9. Изображение объекта анализа и внешней для него среды

Интерпретация разных составляющих среды (см. стрелки, рис. 7.9) различна в зависимости от того, является ли объект анализа предметом или операцией.

Если объект анализа — операция, то стрелки обозначают:

- вход — предметы, перерабатываемые операцией;
- выход — предметы, получаемые в результате операции;
- управление — условия, при которых выполняется операция;
- механизм — средства реализации анализируемой операции.

Если под операцией понимать разрабатываемую программу, то входом будут перерабатываемые ею данные, выходом — данные, получаемые в результате выполнения программы.

Если объект анализа — предмет, то стрелки обозначают:

- вход — операцию, создающую этот предмет;
- выход — операцию, использующую данный предмет;
- управление — условия существования предмета (может отсутствовать);
- механизм — средства воплощения.

Для конкретизации стрелки ей присваивают обозначение, состоящее из латинской буквы, указывающей ее функцию (*I*, *O*, *C*, *M*, см. рис. 7.9) и порядкового номера, например *I1*; *C1* и т.д. На поле схемы вблизи соответствующей стрелки размещают ее наименование.

На верхнем уровне модели изображают схему, отражающую всю анализируемую (проектируемую) систему (рис. 7.10). Такую схему иногда называют «черным ящиком».

Входные и выходные данные, наименование которых указывается у соответствующих стрелок схемы модели верхнего уровня, определяются, как правило, техническим заданием на разработку системы.

На верхних уровнях осуществляют функциональное разбиение модели без учета и выбора методов реализации, т. е. без изображения на схемах стрелки механизма. Когда детализация будет проведена достаточно подробно и появится возможность выбрать эффективные средства реализации, тогда можно вернуться к выбору механизма. Механизм не определяется не из входа, не из выхода, не из управления и их не определяет, являясь независимой составляющей среды. Для моделей верхнего уровня также может быть недостаточно определено содержание управления. В этом случае следует использовать обобщающие наименования соответствующих стрелок, например, для моделей операций: «информационное обеспечение», детализируя их содержание в моделях последующих уровней.

Метод структурного анализа рекомендует как проводить процесс анализа и оформить его результаты, но не дает никаких рекомендаций о способах разбиения объекта на части. Этот вопрос тес-

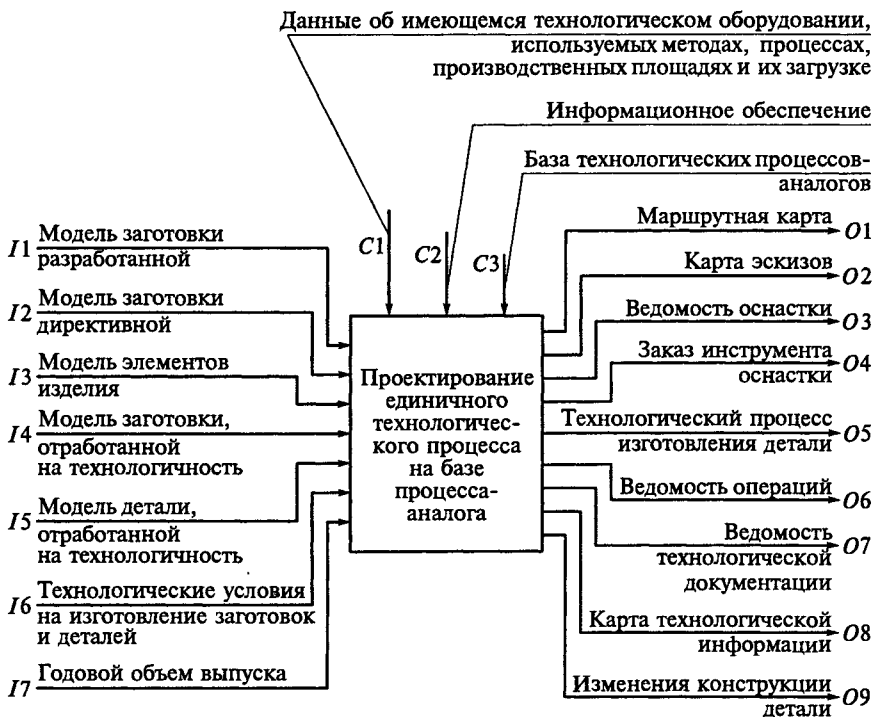


Рис. 7.10. Верхний уровень модели САПР ТП

но связан с особенностями каждой предметной области и требует знания не только методологии структурного анализа, но и сущности проблемы. Для каждой предметной области могут быть выбраны конкретные рекомендации, сокращающие объем творческой работы и повышающие тем самым производительность труда при проектировании САПР ТП.

Модель системы представляет собой иерархический набор схем (структурных диаграмм), полученных в результате ее последовательного анализа.

Каждая схема является детализацией какого-либо объекта (предмета или операции) и окружающей среды из схемы предыдущего (более высокого уровня). При этом анализируемый объект представляется на схеме в виде набора объектов (не более 6), изображаемых в виде прямоугольников и связей между ними, изображаемых стрелками входа, выхода и управления. Части, на которые разложен анализируемый объект, должны в совокупности точно представить этот исходный объект и, кроме того, не должны пересекаться. Стрелки, входящие в схему и выходящие из нее, образуют среду схемы, которая должна точно совпадать со средой анали-

зируемого объекта, изображаемого в виде прямоугольника на схеме предыдущего уровня. К этой среде не должно ничего добавиться, но ничего из нее не должно потеряться. В пределах схемы среда может быть представлена более подробно.

Графическая иллюстрация понятий модели, объекта и среды приведена на рис. 7.11. Количество уровней детализации в моделях различных объектов может быть различным и определяется ясностью схемы нижнего уровня. Для проектирования САПР ТР в большинстве случаев достаточно четырех уровней разложения: функций, задач и два уровня частных подзадач.

Построение модели осуществляется «сверху вниз». После построения схемы определенного уровня ее просматривают специалисты, высказываются замечания, по ним выполняют корректировку схемы, вновь организуется просмотр и т.д. Цикл просмотра выполняют не менее двух раз.

Модель операций обозначают A , модель предметов (данных) — D . Каждый прямоугольник на схеме имеет номер. Нумерация осуществляется слева направо и сверху вниз. Обозначение схемы строится из буквы, обозначающей вид модели (A или D) и номера схемы. Схема первого уровня разложения анализируемого объекта на прямоугольники, имеет номер «ноль» ($A0$ или $D0$).

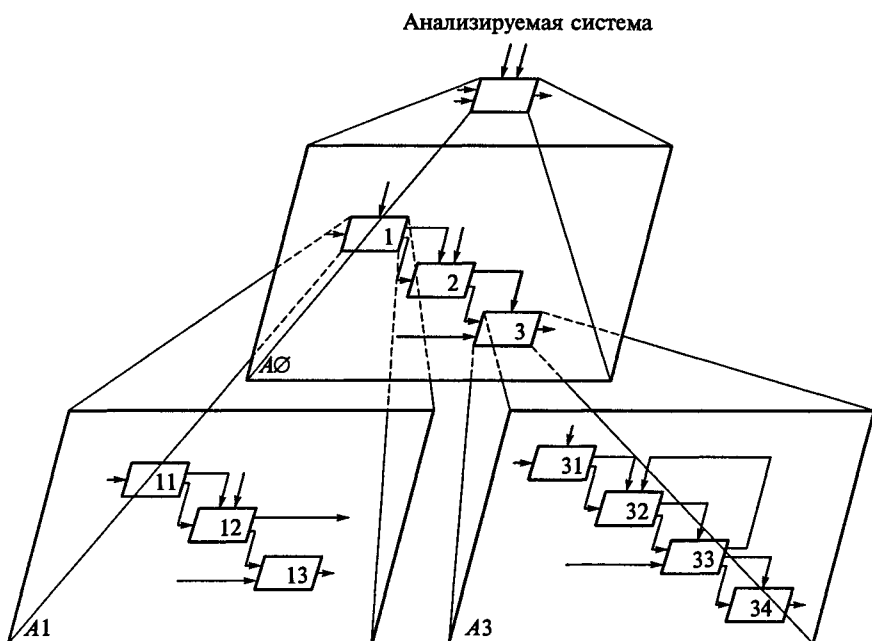


Рис. 7.11. Иллюстрация состава модели

Схемы следующих уровней имеют номера, состоящие из последовательности номеров прямоугольников в схемах (начиная с первого уровня), в которые входит прямоугольник (его содержание детализируется в обозначаемой схеме). Так, номер схемы А52 означает, что это схема третьего сверху уровня (не считая изображения всей системы), раскрывающая содержание прямоугольника 2 на схеме второго уровня, которая, в свою очередь, раскрывает содержание прямоугольника 5 на схеме первого уровня.

Роль разных стрелок в формировании границ разложения данного уровня различна, в зависимости от того, строится модель операций или предметов. В модели операций не может отсутствовать стрелка управления, так как она определяет границы разложения. В модели предметов не может отсутствовать стрелка входа. Отсутствие же стрелок входа в прямоугольник операции или стрелки управления в прямоугольник предмета допускается, если изображаемые стрелками объекты могут быть легко восстановлены по стрелкам выхода и содержанию прямоугольника. Опускание очевидных стрелок упрощает схему и облегчает ее понимание.

Стрелки могут ветвиться, разъединяться, сливаться, соединяться и соединять или разъединять альтернативные варианты.

На рис. 2.8 показана структурная диаграмма первого уровня декомпозиции САПР ТП, верхний уровень модели которой представлен на рис. 7.10. При разработке концептуальной модели системы далее последовательно выполняют декомпозицию каждого из блоков, представленных на рис. 2.8.

Каждую структурную диаграмму размещают на бланке. В нижней или верхней части бланка выделяют области идентификации. В них помещают обозначение схемы, ее название, сведения об авторе, номер страницы и т.д.

Концептуальная модель соответствует этапу эскизного проектирования САПР ТП.

Концептуальное моделирование иногда выполняют еще до разработки технического задания. В этом случае фрагменты концептуальной модели, отражающие особенности и отличия разрабатываемой САПР ТП от существующих, приводят в техническом задании.

Следующим этапом создания САПР ТП является разработка ее функциональной модели.

Функциональная модель описывает функции и структуру программных средств разрабатываемой системы, являясь первым документом технического проекта. Для разработки функциональных моделей используется метод структурного анализа с дополнениями для описания не только функциональной структуры системы, но и укрупненной структуры программного обеспечения.

В основе использования структурного анализа для описания укрупненной структуры программного обеспечения лежит подход, согласно которому на некотором уровне декомпозиции функ-

циональному блоку системы соответствует самостоятельный программный модуль. «Самостоятельность» модуля определяется возможностью его автономной реализации при создании и работе САПР ТП. При разработке функциональной модели последовательно выполняется разложение блоков системы вплоть до уровней, на которых каждый из элементов системы может быть реализован в виде самостоятельного программного модуля. При сетевой реализации САПР ТП каждый самостоятельный программный модуль может «закрепляться» за автоматизированным рабочим местом конкретного пользователя.

Нельзя строго определить, какие функции реализуются самостоятельными программными модулями. Обычно это элементарные функции, т.е. функции нижнего уровня, на которых разработчик завершает декомпозицию функциональной модели. Наименование программного модуля или группы программных модулей на схемах совпадает с наименованием автоматизируемой функции в функциональной модели. В случае, если функция «не элементарна», то имя блока будет именем некоторой группы программных модулей, в совокупности ее реализующих.

Программный модуль и его внешняя среда (интерфейс) представляют в виде, показанном на рис. 7.12.

Стрелки входных и выходных данных в схемах — информационные объекты (таблицы, базы данных, переменные, атрибуты, файлы и т. п.). Входные данные отображают все внешние данные, необходимые для работы программного модуля, а выходные — созданные или измененные в данном модуле данные. Наименование стрелки может совпадать с именем информационного объекта или отличаться от него. Иногда в одном наименовании удобно агрегировать наименование нескольких информационных объектов. В этом случае необходимо дополнительно давать таблицу соответствия имен стрелок и информационных объектов:

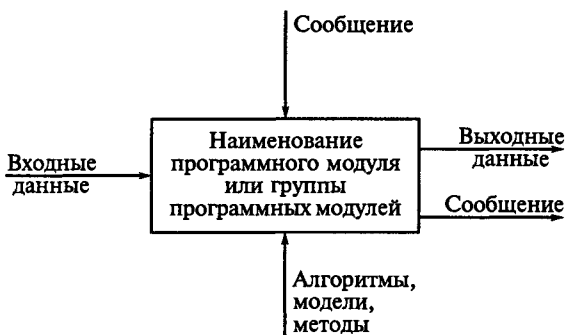


Рис. 7.12. Изображение программного модуля и его внешней среды

Наименование стрелки	Информационный объект
Конструкторско-технологическая информация о типовых изделиях и деталях	Таблица «Конструкторско-технологические данные»
Конструкторско-технологическая информация об изделии-аналоге	Таблица «Конструкторско-технологические данные»
Данные заявки на заказ	Номер заказа Код заказчика Наименование изделия

Функциональные программные модули обмениваются информационными сообщениями, служащими, в основном, для запуска одних модулей другими. На схемах стрелки-сообщения выделяют более толстой линией, а наименования стрелок — кавычками. Вхождение стрелки-сообщения сверху означает, что модуль может быть запущен только при наличии сообщения данного типа. Различают сообщения двух типов:

- свершившееся событие («Функция выполнена», «Получен результат действия»);
- директивы («Выполнить такую-то функцию»).

Один и тот же модуль может запускаться несколькими сообщениями. Можно указывать, достаточно ли для запуска модуля одного сообщения из указанных типов или необходимо наличие одновременно всех сообщений. Результатом работы модуля может быть и сообщение, направляемое одному или нескольким программным модулям.

Общие требования к оформлению схем функциональной модели в целом аналогичны требованиям к оформлению концептуальных моделей.

При разработке структурных диаграмм концептуальных и функциональных моделей САПР ТП используют средства автоматизации, например, пакет DESIGN IDEF (продукт фирмы Metasoftware Corp, США) или пакеты автоматизированного анализа бизнес-процессов, например BPWin.

Работа программных модулей, выделенных в функциональной модели, может осуществляться в интерактивном (диалоговом) или пакетном (автоматическом) режимах. Для обеспечения реализации каждого из режимов при проектировании САПР ТП разрабатывают соответствующие документы.

Диалог конечного пользователя с программными средствами разрабатываемой САПР ТП описывается в документе, называемом «Сценарий диалога», разрабатываемом на этапе технического проекта. Описание сценария диалога ориентировано на пользование графического многооконного интерфейса (типа Micro-

soft Windows) и графическое меню (пиктографический интерфейс).

Документ «Сценарий диалога» состоит из двух частей: описание диалога на уровне окон и описание на уровне окна.

Первая часть описывает укрупненную последовательность работы пользователя и программных средств. Вторая — описывает визуальные объекты, с которыми работает пользователь внутри окна, а также процесс диалога и простые алгоритмы в рамках каждого окна.

Разработчику САПР ТП предлагается создавать любые графические изображения на экране компьютера, способствующие облегчению работы пользователя с программными средствами САПР ТП.

При описании диалога на уровне окон работа программы представляется как последовательность появляющихся друг за другом окон.

Для описания работы программы на уровне окон используется методология структурного анализа, но в отличие от рассмотренного применения ее для концептуального и функционального моделирования, основным правилом структурного разложения является разложение по окнам, появляющимся при работе программы. Разработчик на базе функциональной модели системы определяет состав окон, использующихся при работе программного модуля, а также порядок их следования и взаимодействия. Основой создания рационального сценария диалога на уровне окон является хорошее знание разработчиком предметной области проектируемой системы.

Состав и последовательность взаимодействия окон разработчик определяет исходя из функциональной модели, представляющей общую структуру модуля. Возможно появление и разработка альтернативных сценариев, как по составу, так и по последовательности взаимодействия окон. Для создания качественного и лишенного противоречий сценария диалога на уровне окон необходимо соблюдение основных правил метода структурного анализа, хорошее знание разработчиком предметной области и тщательное соблюдение адекватности разрабатываемого сценария функциональной модели.

Описание диалога на уровне окна включает в себя графический макет окна, отражающий его внешний вид, и таблицу диалога. На рис. 7.13, 7.14 приведены примеры макетов окон, применяемых при организации работы САПР ТП. Соответствующие таблицы диалога представлены в табл. 7.2, 7.3.

В окне изображают объекты, служащие для ввода и вывода данных (меню, кнопки, рисунки и т.д.). Объекты, активно участвующие в диалоге с пользователем, дополнительно описывают в таблице диалога. «Активное» участие объектов заключается в том, что

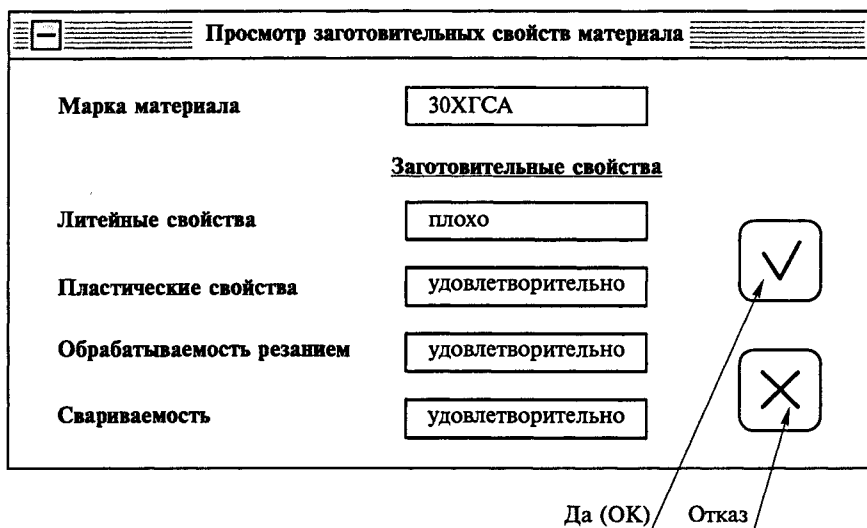


Рис. 7.13. Окно «Просмотр заготовительных свойств материала»

они в процессе работы могут реагировать на те или иные действия пользователя или изменять свое изображение в процессе работы. Например, взаимодействие пользователя может заключаться в выборе мышью какой-либо позиции меню, кнопки, набора с клавиатуры в поле ввода данных какого-либо текста, чисел и т.д. Диалог пользователя и программы на уровне окна «привязывается» уже к оконным объектам. К ним «привязываются» также все программные алгоритмы. Таблица диалога составляется отдельно для каждого окна. При составлении проектного документа она обычно располагается сразу после изображения окна.

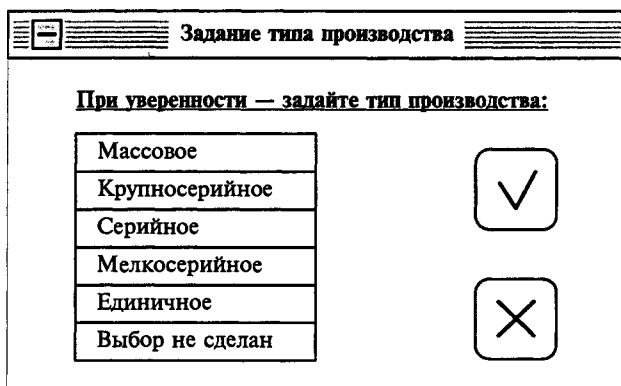


Рис. 7.14. Окно «Задание типа производства»

Таблица 7.2. Таблица диалога для окна «Просмотр заготовительных свойств материала»

№	Имя объекта окна	Тип	Формат	Реакция на событие	Значение
1	Марка материала	С	1*10		
2	Литейные свойства	С	1*18, X		БД «Заготовительные свойства материалов», ключ «Марка материала»
3	Пластические свойства	С	1*18, X		БД «Заготовительные свойства материалов», ключ «Марка материала»
4	Обрабатываемость резанием	С	1*18, X		БД «Заготовительные свойства материалов», ключ «Марка материала»
5	Свариваемость	С	1*18, X		БД «Заготовительные свойства материалов», ключ «Марка материала»
6	Да (ОК)	К		1. Закрыть окно. 2. Передать значения полей «Литейные свойства», «Пластические свойства», «Обрабатываемость резанием», «Свариваемость» в базу данных «Выбор вида заготовки». 3. Открыть окно «Требования к материалу детали»	
7	Отказ	К		1. Закрыть окно. 2. Открыть окно «Просмотр данных о материалах»	

Таблица 7.3. Таблица диалога для окна «Задание типа производства»

№	Имя объекта окна	Тип	Формат	Реакция на событие	Значение
1	При уверенности задайте тип производства	С	М, Х		«Массовое», «Крупносерийное», ..., «Выбор не сделан»
2	Да (ОК)	К		1. Закрыть окно. 2. ЕСЛИ «При уверенности — задайте тип производства» = «Массовое»,, «Единичное», ТО {Записать заданное значение типа производства в базу данных «Выбор вида заготовки», открыть окно «Оценка возможностей производства»}, ИНАЧЕ открыть окно «Оценка типа производства»	
3	Отказ	К		1. Закрыть окно. 2. Открыть окно «Оценка ответственности детали»	

Дадим краткую характеристику структуре таблицы диалога.

Имя объекта. Каждому объекту разработчиком присваивается имя, уникальное в рамках своего окна, которое может содержать любые символы. Имя объекта часто указано непосредственно в окне («Марка материала», «Литейные свойства» и др. см. рис. 7.13). В противоположном случае необходимо делать сноску, обозначив границы объекта в окне (см. на рис. 7.13 сноску для кнопок «Да(ОК)», «Отказ»).

Тип. Основные типы используемых при проектировании САПР ТП объектов представлены в табл. 7.4.

Само окно и программа рассматриваются как объект, который может реагировать на события. Для программы под открытием понимают ее запуск, а под закрытием — завершение выполнения программы. Для окна выполняют открытие, закрытие, выбор в многооконной системе. Изображение (т.е. значение) окна может изменяться (смена значения).

Таблица 7.4. Типы и допустимые события для объектов окна

Объект	Обозначение	События			
		Открытие	Закрытие	Выбор	Смена значения
Программа	П	+	+		
Окно	О	+	+	+	+
Целое поле	Ц			+	+
Действительное поле	Д			+	+
Символьное поле	С			+	+
Логическое поле	Л			+	+
Меню	М			+	+
Рисунок	Р			+	+
Кнопка	К			+	

Поле есть некоторая часть окна (обычно прямоугольная), в которую вводится значение некоторой внутренней переменной программы. Для полей, отображающих значение переменной, их имя совпадает с именем переменной, и это имя обычно отображается на экране рядом с выводимым значением этой переменной (см. рис. 7.13, 7.14) и за исключением особо описываемых случаев будет отождествлять понятие переменной поля, в которое выводится ее значение. В зависимости от характера множества значений, принимаемых переменной, различают основные типы полей (см. табл. 7.4).

Особую группу полей составляют поля типа меню (поля селективного типа). В этих полях отображается не одно текущее значение переменной, а фактически все множество возможных значений переменной. Текущим значением считается то, которое выбирает пользователь. Выбор обычно осуществляют курсором, эта позиция меню на экране подсвечивается. Список значений может располагаться как вертикально, горизонтально, так и сложным вложенным способом. Выбираться может как одно, так и одновременно несколько значений. Меню могут быть с прокруткой (скроллингом) и динамически появляющиеся (всплывающие), описываемые отдельными окнами. Основные типы меню определяются возможностями среды программирования и здесь не рассматриваются. Разработчик САПР ТП должен определить тип меню, реализация и организация работы выбранного меню, как и общий дизайн окна, являются прерогативой программиста.

Под рисунком понимают любое изображение, рассматриваемое, с точки зрения пользователя, как единое целое. На вид рисунков не накладывается никаких ограничений. Различают изображения двух типов: фиксированное и вычисляемое. Фиксированный рисунок можно заготовить заранее при разработке САПР ТП (т.е. «зашить» его в программное обеспечение). При работе программы такой рисунок не меняется. Примерами таких рисунков могут быть планировка цеха, отдельные изображения станков, элементы функциональных схем и т.д.

Вычисляемый рисунок характеризуется тем, что его конкретный вид нельзя описать заранее при разработке программы. При описании такого изображения в таблице диалога необходимо указать в столбце «значение» алгоритм его формирования. В изображении макета окна желательно нарисовать эскиз или пример такого рисунка. Примером вычисляемого изображения может служить текущий чертеж проектируемой заготовки, эскиз разрабатываемой операции и т.д.

Кнопка — частный случай рисунка. При ее указании визуально имитируется погружение, т.е. нажатие кнопки. Приведем упрощенные изображения типовых кнопок с рисунками (пиктограммами) и пояснениями их обычного применения (табл. 7.5).

Таблица 7.5. Примеры пиктограмм

Пиктограмма	Назначение кнопки, комментарий
	Подробная информация о выбранном объекте
	Подсказка (Help). При нажатии кнопки открывается окно, содержащее подсказку (текст, рисунок и т.д.)
	Расшифровка обозначения кнопки
	Да (ввод, ОК). Выход с подтверждением сделанных изменений
	Отказ (Cancel). Выход без подтверждения сделанных изменений
	Выход из текущего окна

Пользователь может придумывать свои специальные кнопки со своими пиктограммами.

Формат. Определяет в каком виде вводится (выводится) в поле значение переменной. Для целых полей указывают размер поля в символах. Пример фрагмента таблицы диалога:

Имя объекта окна	Тип	Формат
Программа выпуска (шт.)	Ц	6
Номер расчетного счета	Ц	8

Для действительных полей указывают количество знаков до запятой и через точку — количество знаков после запятой. Размер поля определяется в одну строку и общим количеством символов. Пример:

Масса изделия (кг)	Д	3.3
--------------------	---	-----

Количество символов в поле $3 + 1 + 3 = 7$.

Для символьных полей указывают как минимум два параметра, разделяемые знаком умножения «*»: высоту поля в строках и длину строки в символах. В одной строке на экране монитора, в зависимости от режима его работы, содержится 40—80 символов. Всего на экране размещается до 25 строк.

Примеры задания символьных полей:

Адрес	С	3*50
Фамилия, имя, отчество	С	3*20

Если после указанных параметров стоит знак «+», то это означает, что длина значения по соответствующему параметру может превышать размер поля, т. е. допуск типа «прокрутка» или «скроллинг» значения через видимую часть экрана:

Фамилия, имя, отчество	С	1*60+
------------------------	---	-------

Режим скроллинга применяют для просмотра меню, записей в базах данных и т. д.

Для полей, запрещенных к редактированию пользователем, указывают символ X в поле формата. Чаще всего это указывают для полей типа меню (см. табл. 7.3).

Для логических полей, отображающих значение переменных ИСТИНА или ЛОЖЬ, существует своя форма представления в окнах. В системе Windows против имен логических полей изобра-

жается квадрат, который помечается (перечеркивается накрест) в случае, если значение поля равно ИСТИНА (TRUE) и остается пустым, если значение равно ЛОЖЬ (FALSE). Указание пользователем курсором на это поле и нажатие клавиши автоматически меняет его значение на противоположное с соответствующим появлением или пропаданием метки. Обычно логические поля используют для указания режимов работы САПР ТП, например «Разработка техпроцессов», «Корректировка» и т. д.

Реакция на событие. Выполнение программы и ее частей инициализируется действиями пользователя с объектами окна, например, указанием курсором какого-либо объекта, вводе им данных с клавиатуры и т. д. Такие действия называют событиями, инициируемыми пользователем. Эти события могут вызывать целую цепочку программных действий, которые также можно рассматривать как событие. События, вызываемые программой, могут быть такого же типа, как и представленные в табл. 7.4, или иметь произвольный, определяемый разработчиком, тип.

В столбце таблицы диалога «Реакция на событие» разработчик может указать, на какое событие какие программные действия предусмотрены. Альтернативные события и действия описывают с помощью условного оператора ЕСЛИ... ТО... ИНАЧЕ..., для которого соблюдают правила вложения (последнее ИНАЧЕ относится к ближайшему ЕСЛИ). Самый внешний условный оператор определяет, какое событие произошло. После ЕСЛИ допустимы скобочные логические выражения с логическими операциями И, ИЛИ и НЕТ (НЕ). Данное событие заключается в выборе (выделении) объекта с помощью курсора «мыши» или клавиатуры. Далее описывается последовательность программных действий. Эти действия можно нумеровать, а также группировать с помощью скобок { }, разделяя их запятой (см. табл. 7.3). Более длинные или сложные действия и алгоритмы (например, содержащие циклы) выносят из таблицы в спецификации алгоритмов. На эти спецификации в таблице диалога делается ссылка с указанием номера алгоритма и названия.

Значение. Описывают возможные значения, принимаемые соответствующей переменной (полем), а также процесс вычисления значения поля или изображения объекта типа «рисунок». Подобно столбцу «Реакция на событие» здесь можно использовать условный оператор ЕСЛИ... ТО... ИНАЧЕ..., а также писать арифметические выражения от значений других полей и описывать связь значения с базами данных.

Значение полю может присваивать пользователь САПР ТП, набирая его с клавиатуры или выбирая его из множества возможных в меню. Значение может быть определено и программным путем, например, в результате вычислений по алгоритму или поиска в базе данных. В частном случае поле может не иметь значения,

например, в случае, если пользователь не ввел в поле или не выбрал позицию меню. Это означает, что поле имеет значение, равное НЕТ_ЗНАЧЕНИЯ (ВЫБОР_НЕ_СДЕЛАН, см. рис. 7.14). Разработчик должен обратить особое внимание на обязательность описания реакции системы на событие в этом случае (см. табл. 7.3).

Одна и та же переменная может быть представлена в разных окнах и изменение ее значений отображается одновременно во всех окнах, где она представлена. Чтобы понимать, что переменная может получать значение в другом окне, в таблице диалога после имени поля (т. е. имени переменной), указывают имена окон, где также отображается значение этой переменной.

В случае, если значение переменной, выводимой в поле, берется из «внешнего» источника, например, из таблицы базы данных или сохраняется в ней, то в столбце «Значение» указывается источник и ключ поиска (см. табл. 7.2).

Алгоритмы, предназначенные для реализации в программных средствах разрабатываемой САПР ТП, представляют в документе «Описание алгоритмов», составляемом на этапе технического проекта. На представленные алгоритмы осуществляются ссылки из документа «Сценарий диалога». Совместно с другими документами, дающими описание (спецификацию) проектируемой системы, данный документ образует комплект взаимосвязанных описаний технического проекта, достаточный для программирования автоматизированной системы. «Описание алгоритмов» разрабатывают только для сложных алгоритмов. Простые алгоритмы, например, несколько последовательных операторов, в том числе условных, можно описывать в документе «Сценарий диалога». Разделение алгоритмов на сложные и простые является условным и выполняется разработчиком. Для описания алгоритмов используется метод структурного анализа, аналогичный его использованию при описании сценария диалога. В комментарии коротко описывается задача, решаемая алгоритмом, и основные идеи метода решения. Реализуемый алгоритм должен быть понятен программисту и любому другому разработчику. Важно не только строгое описание действия или оператора, сколько смысл этого действия. Не рекомендуется делать сокращения в именах блоков и стрелок, даже принятые в данной предметной области сокращения следует употреблять осмотрительно. Для некоторых действий (например, сортировки массивов) необязательно описание алгоритма, так как квалифицированный программист сам может подобрать эффективный алгоритм.

Информационная модель САПР ТП предназначена для описания состава и структуры информационного обеспечения, необходимого для функционирования САПР ТП. Разработчик-технолог обычно определяет только состав информационной модели, не рассматривая ее структуру (вопросы организации взаимодействия информационных объектов, их отношение, организацию хране-

ния данных и т.д.). Представляемая разработчиком-технологом информационная модель включает в себя:

- таблицы соответствия имен стрелок и информационных объектов, представленных в документах «Функциональная модель», «Сценарий диалога», «Описание алгоритмов»;
- список баз данных, необходимых для информационного обеспечения функционирования САПР ТП;
- комплект описаний информационных объектов (таблиц, баз данных и т.д.) с записями в количестве, достаточном для разработки и тестирования макета САПР ТП.

Список необходимых баз данных формируют по мере разработки спецификаций системы и составляют по ее завершении. Разработчик-технолог представляет базы данных лишь на логическом уровне.

Описанные документы соответствуют уровням эскизного и технического проектов и составляют основу последующей программной реализации разрабатываемой системы, но являются по сути первичными документами разработчика. На их основе разрабатывают документы, виды, комплектность, обозначение которых регламентированы действующими стандартами.

После утверждения технического и рабочего проектов системы выполняют ее программную реализацию с использованием выбранных сред программирования и средств его автоматизации. Чаще всего используют модульный принцип — работы по созданию отдельных модулей системы выполняют различные группы специалистов, действующие одновременно и независимо друг от друга, но поддерживающие постоянные деловые контакты и обменивающиеся необходимой информацией.

Объединение модулей в единую систему и отладку их взаимодействия выполняют представители всех групп разработчиков при обязательном участии специалистов-технологов. Тестирование отлаженной системы выполняют уменьшенные по составу группы, включающие программистов и технологов. В этот же период готовят документацию, входящую в состав методического и организационного обеспечения разрабатываемой САПР ТП.

При окончательной приемке разработанной системы проводят ее испытания, для выполнения которых разрабатывают и утверждают соответствующую программу.

После подписания необходимой приемно-сдаточной документации систему считают готовой к продаже (тиражированию) или эксплуатации конкретным заказчиком.

Качество создаваемой системы прямо зависит от качества разработки ее моделей, спецификаций и других необходимых документов. Строгое следование плану разработки системы, документирование каждого из ее этапов способствуют созданию высокоэффективных САПР ТП при минимальных затратах времени и средств.

Контрольные вопросы

1. Дайте краткую характеристику основных реализаций отечественных САПР ТП. Укажите отличия в принципах их построения.
2. Что такое конструктивно-технологическая параметризация? Как и в каких отечественных САПР ТП она используется?
3. Как осуществляется проектирование единичных маршрутных ТП в отечественных автоматизированных системах?
4. Что фиксирует техническое задание на проектирование?
5. Какими компонентами может быть формально представлено технологическое решение?
6. В каких отношениях могут находиться объекты проектных решений?
7. Что такое технологическое подобие? Какие оценки технологического подобия вы знаете? Для каких целей возможно использование подобия при автоматизации проектирования ТП?
8. Каким образом может быть автоматизирован выбор технологических баз?
9. Назовите новые методологии конструкторско-технологического проектирования, реализующиеся в современных САПР.
10. Из каких основных разделов состоит техническое задание на разработку САПР ТП? Дайте краткую характеристику каждого раздела.
11. Что такое концептуальная модель САПР ТП?
12. Назовите основные положения метода структурного анализа применительно к разработке САПР ТП.
13. Что такое функциональная модель САПР ТП? Чем она отличается от концептуальной модели?
14. Что такое «сценарий диалога»? Из каких частей он состоит и как его формируют?
15. Как описывают алгоритмы при разработке программных средств САПР ТП?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / [В. С. Корсаков, Н. М. Капустин, К.-Х. Темпельхоф и др.] ; под общ. ред. Н. М. Капустина. — М. : Машиностроение, 1985.
2. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: [пер. с англ.] / Г. Буч. — М. : Конкорд, 1992.
3. Гайдамакин Н. А. Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. Вводный курс : учебное пособие для вузов / Н. А. Гайдамакин. — М. : Гелиос АРВ, 2002.
4. Кондаков А. И. Генерирование вариантов установки заготовок при разработке маршрутных процессов изготовления деталей / А. И. Кондаков // Справочник. Инженерный журнал. — 2002. — № 1. — С. 5—13.
5. Кондаков А. И. Формирование информационной основы проектирования технологических процессов изготовления деталей / А. И. Кондаков // Справочник. Инженерный журнал. — 2001. — № 3. — С. 15—20.
6. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / [А. С. Васильев, А. М. Дальский, Ю. М. Золотаревский и др.] ; под ред. А. И. Кондакова. — М. : Машиностроение, 2005.
7. Норенков И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
8. Норенков И. П. САПР. Принципы построения и структура. — Кн. 1. : учеб. пособие для вузов / И. П. Норенков. — М. : Высш. шк., 1986.
9. Суслов А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. — М. : Машиностроение, 2002.
10. Таха Х. А. Введение в исследование операций : [пер. с англ.] / Х. А. Таха. — М. : Вильямс, 2001.
11. Технологическая подготовка гибких производственных систем / [С. П. Митрофанов, Д. Д. Куликов, О. Н. Мильяев и др.] ; под общ. ред. С. П. Митрофанова. — Л. : Машиностроение, 1987.
12. Технология машиностроения : в 2 т. — Т. 1. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / [В. М. Бурцев, А. С. Васильев, А. М. Дальский и др.] ; под ред. А. М. Дальского. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.
13. Технология машиностроения: в 2 т. — Т. 2. Производство машин : учебник для вузов / [В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев и др.] ; под ред. Г. Н. Мельникова. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.
14. Управление жизненным циклом продукции / [А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов и др.]. — М. : Анахарсис, 2002.
15. Цветков В. Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков. — М. : Машиностроение, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Проблема автоматизации проектирования технологических процессов	8
1.1. Жизненный цикл и технологическая подготовка производства изделий машиностроения	8
1.2. Автоматизация поддержки жизненного цикла изделий машиностроения	19
1.3. Современное состояние автоматизации проектирования технологических процессов изготовления машин	28
Глава 2. Принципы построения и структура САПР ТП	35
2.1. Технологический процесс как объект проектирования	35
2.2. Основные принципы построения САПР ТП	45
2.3. Состав и структура САПР ТП	50
2.4. Построение САПР ТП на базе использования процессов-аналогов	59
2.5. Структура систем автоматизированного синтеза единичных технологических процессов	75
2.6. Структура САПР ТП сборки	93
Глава 3. Информационное обеспечение САПР ТП	98
3.1. Основные виды информации в САПР ТП	98
3.2. Информационные базы САПР ТП	106
Глава 4. Математическое обеспечение САПР ТП	121
4.1. Моделирование объектов в САПР ТП	121
4.2. Оценка и оптимизация проектных технологических решений	139
Глава 5. Лингвистическое и программное обеспечение САПР ТП	150
5.1. Языки проектирования и программирования в САПР ТП	150
5.2. Программное обеспечение САПР ТП	165

Глава 6. Техническое и организационно-методическое обеспечение САПР ТП	176
6.1. Технические средства САПР ТП	176
6.2. Организационно-методическое обеспечение САПР ТП	199
Глава 7. Современные САПР ТП и их совершенствование	205
7.1. Отечественные САПР ТП	205
7.2. Направления совершенствования САПР ТП	223
7.3. Разработка САПР ТП	244
Список литературы	266

Учебное издание

Кондаков Александр Иванович

САПР технологических процессов

Учебник

Редактор *Н. С. Лепина-Лавринович*

Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерная верстка: *Н. Н. Лопашова*

Корректоры *Т. Н. Морозова, С. Ю. Свиридова*

Изд. № 101112198. Подписано в печать 20.11.2006. Формат 60×90/16.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 17,0.
Тираж 3 000 экз. Заказ № 18205.

Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 360. Тел./факс: (495) 330-1092, 334-8337.

Отпечатано в ОАО «Саратовский полиграфический комбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sarpk.ru