

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

Н.Г. РАССКАЗЧИКОВ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Владимир 2010

УДК 681.31 (076)

ББК 32.973.2-01

P24

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Технология машиностроения»
Ковровской государственной технологической академии
Ю.З. Житников

Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
А.В. Жданов

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Рассказчиков, Н.Г.

P24

Компьютерные системы управления: учеб. пособие / Н.Г. Рассказчиков ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 155 с. – ISBN 978-5-9984-0017-9.

Составлено в соответствии со стандартами специальности 220301 – автоматизация технологических процессов и производств и направления 220200 – автоматизация и управление; обеспечивает изучение дисциплины «Компьютерные системы управления».

Рассматриваются вопросы теории и практического использования современных средств автоматизации и управления.

Предназначены для студентов дневного и заочного обучения специальности 220301 и направления 220200.

Табл. 1. Ил. 40. Библиогр.: 15 назв.

УДК 681.31 (076)

ББК 32.973.2-01

ISBN 978-5-9984-0017-9

© Владимирский государственный
университет, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Принципы компьютерного управления.....	8
1.1. Объекты автоматизации.....	8
1.2. Классификация систем автоматизации и управления (САУ).....	10
1.3. Принципы построения систем автоматизации и управления.....	13
1.4. Функциональные и технические структуры САУ.....	20
1.4.1. Функциональная структура локальной САУ.....	20
1.4.2. Функциональная структура централизованной САУ.....	22
1.4.3. Функциональная структура иерархической САУ...	24
1.4.4. Функциональные структуры САУ в зависимости от способа включения ЭВМ в контур управления..	25
Глава 2. Компьютерная автоматизация технологической подготовки производства.....	29
2.1. Основные понятия.....	29
2.2. Нормативные документы единой системы технологической подготовки производства.....	30
2.3. Разработка технологических процессов.....	30
2.4. Методы реализации технологической подготовки производства.....	32
2.5. Автоматизация технологической подготовки производства.....	36
2.5.1. Общие положения.....	36
2.5.2. Автоматизация методов ТПП.....	37
2.5.3. Автоматизация технологической подготовки производства при использовании станков с ЧПУ...	43
2.5.4. Прототипирование.....	46
2.5.5. Пример проектирования технологии фрезерной обработки.....	49
Глава 3. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.....	59
3.1. Основные понятия и классификация АСУТП.....	59
3.2. Описание уровней АСУТП.....	63

3.2.1. Нижний уровень АСУТП.....	63
3.2.2. Средний уровень АСУТП.....	67
3.2.3 Верхний уровень АСУТП.....	68
Глава 4. Программируемые логические контроллеры и SCADA-системы.....	69
4.1. История развития контроллеров.....	69
4.2. Сравнительный анализ современных ПЛК и РС-совместимых контроллеров.....	76
4.3. Требования, предъявляемые к контроллерам АСУТП.....	79
4.4. SCADA-системы.....	82
4.5. Программируемые логические контроллеры ПЛК-100, ПЛК-150.....	92
Глава 5. Системы числового программного управления.....	99
5.1. Определения и терминология.....	99
5.2. Задачи, решаемые устройствами ЧПУ.....	101
5.3. Классификация систем ЧПУ.....	103
5.4. Решение траекторных задач в компьютерных системах управления.....	105
5.5. Концепции разработок и стратегия развития средств ЧПУ.....	112
Глава 6. Современные интеллектуальные технологии, применяемые в производстве.....	117
6.1. Основные этапы развития интеллектуальных систем и предпосылки их использования в промышленности....	117
6.2. Признаки интеллекта производственных систем.....	120
6.3. Современные тенденции развития интеллектуальных производственных систем.....	126
6.4. Искусственный интеллект в роботизированных системах.....	132
Контрольные вопросы.....	149
Заключение.....	151
Библиографический список.....	153

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в российской промышленности все более заметен переход к компьютерной автоматизации производства. Предприятия в условиях конкурентной борьбы на рынке ищут эффективные пути снижения себестоимости и быстрой адаптации к изменяющемуся спросу. Решение этих задач невозможно без автоматизации технологических процессов и объединения разных уровней автоматизации информационными каналами.

Микропроцессорная техника сначала нашла применение в персональных компьютерах для хранения данных, стандартных расчетов и подготовки документов. Следующий этап применения микропроцессоров проявился в автоматизации производства. Модернизация технологий путем совершенствования и тиражирования программного обеспечения становится быстрее и дешевле, чем переделка механических элементов оборудования. Появляются принципиально новые методы управления процессами, основанные на распознавании образов, системы компьютерной диспетчеризации производства, программируемые контроллеры, интеллектуальные датчики, микропроцессорные регуляторы приводов, промышленные компьютеры. Компьютерно-интегрированное производство приобретает свойства гибкости (быстрой смены продукции), открытости (совместимости покупаемых и применяемых средств автоматики) и прозрачности (получения исчерпывающей информации о производстве с любого уровня управления).

Учебное пособие освещает вопросы теории и практического использования современных средств автоматизации и управления, является актуальным и полезным для подготовки специалистов различных отраслей промышленности.

В первой главе пособия определены общие принципы компьютерного управления объектами автоматизации, представлена классификация и приведены структуры систем автоматизации и управления.

Вторая глава посвящена компьютерной автоматизации технологической подготовки производства. После краткого изложения общих сведений о технологических процессах в машиностроении в этой главе основное внимание уделено компьютерной автоматизации методов технологической подготовки, автоматизации технологической подготовки производства при использовании станков с ЧПУ и в гибких производственных системах.

В третьей главе, посвященной автоматизированным системам управления технологическими процессами, дан исторический обзор их развития, освещены их функции и принципы построения, особенности и функциональные возможности, проблемы распределенных систем управления и технические средства их решения.

Четвертая глава полностью посвящена программируемым логическим контроллерам и промышленным сетям. Изложение материала проводится на конкретных примерах использования отечественных контроллеров ОВЕН.

Пятая глава посвящена системам управления технологическим оборудованием. В качестве примеров процессов используются лазерное термическое упрочнение и обработка на многооперационных станках с ЧПУ.

В шестой главе даны перспективы развития компьютерных систем управления на примере систем с элементами искусственного интеллекта.

Информационная технологическая революция в промышленности привела к появлению новых требований к специалистам в области автоматизации. Они должны уметь вырабатывать идеи по повышению эффективности конкретного производства, выбирать устройства автоматизации и объединять их в систему компьютерно-интегрированного производства. Для этого надо хорошо знать конкретное производство, современные технологии и устройства автоматизации, объединять распределенные устройства автоматизации с помощью промышленных сетей, грамотно создавать и применять программное обеспечение для управления производством.

Проблематика компьютерных систем управления (КСУ) имеет ряд аспектов.

По аналогии с терминологией автоматизированного проектирования целесообразно эти аспекты называть видами обеспечения и вы-

делять лингвистическое, информационное, программное, математическое, методическое, техническое, метрологическое, правовое и организационное обеспечения.

К лингвистическому обеспечению относятся языки и форматы данных о промышленных изделиях и процессах, используемые для представления и обмена информацией на этапах жизненного цикла изделий.

Информационное обеспечение составляют базы данных, в которых имеются сведения о промышленных изделиях, используемые разными системами в процессе проектирования, производства, эксплуатации и утилизации продукции. В состав информационного обеспечения входят также серии международных и национальных стандартов и спецификаций, классификаторы технико-экономической информации, нормативно-справочная информация, форма представления и организации данных в системе, в том числе формы документов, видеограмм, массивов и логические интерфейсы (протоколы обмена данными).

Программное обеспечение представлено программными комплексами, предназначенными для реализации всех функций КСУ в объеме, предусмотренном в техническом задании, и необходимыми для управления документами и документооборотом, управления проектными данными, взаимодействия предприятий в совместном электронном бизнесе, подготовки интерактивных электронных технических руководств.

Математическое обеспечение включает методы решения задач управления, алгоритмы создания и использования моделей взаимодействия различных систем. Среди этих методов в первую очередь следует назвать методы имитационного моделирования сложных систем, методы планирования процессов и распределения ресурсов. В функционирующей системе математическое обеспечение реализовано в составе программного обеспечения.

Методическое обеспечение представлено методиками выполнения таких процессов, как параллельное (совмещенное) проектирование и производство, структурирование сложных объектов, их функциональное и информационное моделирование, объектно-ориентированное проектирование, создание онтологий приложений.

К техническому обеспечению относят аппаратные средства получения, хранения, обработки и визуализации данных, передачи информации и средства реализации управляющих воздействий.

В состав метрологического обеспечения входят метрологические средства и инструкции по их применению.

В состав правового обеспечения входят нормативные документы, определяющие правовой статус персонала, правил функционирования и нормативы на автоматически формируемые документы, в том числе на электронных носителях информации.

Наконец, организационное обеспечение представлено различного рода документами, совокупностью соглашений и инструкций, регламентирующих функции подразделений управления, действия и взаимодействие персонала, роли и обязанности участников жизненного цикла изделий.

Глава 1. ПРИНЦИПЫ КОМПЬЮТЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Объекты автоматизации

Производственный процесс можно представить как систему, преобразующую потоки энергии, материалов и информации.

С позиции автоматизации различают два типа производства: непрерывное и дискретное. К непрерывным относят производства, в которых требуется регулировать расход, давление, температуру, напряжение, перемещение подвижных элементов и прочие величины во всем диапазоне их изменений. Это разнообразные химические реакторы, процессы приготовления пищевых продуктов, металлургия, снабжение теплом, водой и электроэнергией. К дискретным относят производства с конечным числом состояний переменных, например с включением и отключением клапанов, задвижек, пускателей по сигналам двухпозиционных датчиков.

В непрерывных производствах занято мало людей, поэтому за счет автоматизации можно снизить затраты материалов и энергии или стабилизировать технологический процесс, исключив его зависимость от субъективных факторов. Для управления таким производством требуется согласование динамических характеристик объекта управ-

ления и системы автоматического регулирования во всем интервале изменения регулируемых величин.

Автоматизация дискретного производства развита меньше вследствие большого разнообразия изделий и операций, повышенных требований к точности операций. Здесь занято множество рабочих ручного труда. Для дискретного производства может быть огромное число вариантов автоматизации, отличающихся последовательностью операций, затратами и эффективностью. Их сопоставление требует формального описания алгоритмов управления оборудованием и разработки моделей организации производства. В последнее время методы автоматизации дискретного производства все чаще применяют к автоматизации непрерывного производства.

Сложность управления производством зависит от полноты перечисления технологических ситуаций S , необходимых и достаточных для выработки управляющих решений. Каждую ситуацию задают набором значений признаков, характеризующих внешнюю обстановку и состояние объекта управления [7, 8]. Значения признаков могут быть непрерывными или бинарными. В первом случае для управления важна, например, величина скорости движения, во втором – отсутствие или наличие факта превышения заданной скорости.

Для задач управления часто нужны только факты изменений в технологической среде, поэтому непрерывные признаки сводят к бинарным. Это позволяет значительно сократить число ситуаций, в которых принимается управляющее решение. Тем не менее даже при бинарных признаках ввод каждого дополнительного признака увеличивает число комбинаций признаков или описываемых ими ситуаций в два раза.

Так, для пяти бинарных признаков среды число описываемых ситуаций $S=2^5=32$, а после ввода еще одного признака требуется описать уже $S=2^6=64$ ситуации. С другой стороны, некоторые ситуации, описанные комбинациями признаков, невозможны по технологическим условиям. Например, невозможны ситуации, в которых одинаковы значения признаков движения вперед и назад.

В зависимости от числа n датчиков, воспринимающих внешнюю обстановку и состояние объекта, технологическая среда может быть полностью определенной, организованной или неорганизованной.

В полностью определенной среде управление задано для всех комбинаций признаков среды. Например, включается и отключается некоторый механизм с датчиком аварии.

Состояние среды характеризуется наличием или отсутствием сигнала с датчика аварии, а состояние объекта – работой или остановкой механизма.

Для двух бинарных признаков возможны только $2^2=4$ ситуации:

I - механизм работает, аварии нет;

II - механизм работает, авария есть;

III - механизм не работает, аварии нет;

IV - механизм не работает, авария есть.

В каждой ситуации может быть принято одно из трех решений:

для I и IV - ничего не предпринимать;

для II - отключить механизм;

для III - включить механизм.

В организованной среде некоторые из ситуаций невозможны по технологическим условиям, поэтому можно задать управление только для подмножества $S1 \in S$ возможных ситуаций, считая, что остальные ситуации никогда не возникнут (за исключением отказов датчиков). В этом случае множество комбинаций признаков среды разбивают на подмножества возможных $S1$ и невозможных $S2 \in S$ ситуаций. Перечислить возможные ситуации $S1$ и задать для них управление можно, если число признаков ситуаций не превышает 5-6.

В неорганизованной среде ее состояние не может быть описано конечным числом признаков и, следовательно, не может найдено управление по всем этим признакам и их комбинациям.

1.2. Классификация систем автоматизации и управления (САУ)

Рассмотрим основные классификационные признаки САУ.

1. По степени автоматизации функций управления:

- системы ручного управления (человек-оператор вырабатывает и реализует стратегию управления);

- системы автоматизированного управления (человеко-машинные САУ);

- системы автоматического управления (без участия человека).

2. По степени сложности САУ:

- простые;
- сложные.

3. По степени определенности САУ:

- детерминированные (вполне определенные); к числу сложных детерминированных систем можно отнести, например, ЭВМ;
- стохастические (вероятностные), в которых можно лишь предсказать вероятность возможного изменения вектора состояния системы; к числу таких систем относятся производственное предприятие, отрасль промышленности и т. п.

Простые САУ (одно- и многоконтурные), несмотря на их многообразие, можно классифицировать по следующим признакам:

1. По типу обратных связей:

- разомкнутые (без обратных связей);
- замкнутые;
- по вектору состояния (с регулированием по отклонению);
- по вектору возмущающих воздействий (с регулированием по возмущению);
- замкнутые по векторам состояния и возмущающих воздействий (с комбинированным регулированием).

2. По числу и связности каналов управления:

- одно- или многомерные;
- одно- или многосвязные (с автономными или неавтономными каналами управления).

Многомерные, многосвязные системы управления даже простыми объектами при большой размерности вектора управления могут быть отнесены к сложным САУ.

3. По принципу управления (характеру задач управления):

- системы стабилизации;
- системы программного управления;
- следящие системы и системы воспроизведения движений.

4. По форме математического описания:

- непрерывные (аналоговые);
- дискретные (релейные, импульсные, цифровые);
- дискретно-непрерывные, в том числе цифроаналоговые.

5. По типу управляемой координаты:

- САУ линейной или угловой скорости механизма или соотношения скоростей механических подсистем;

- САУ линейного или углового перемещения рабочего органа механизма;
- САУ нагрузки на валу механизма;
- САУ температуры, давления, расхода и других технологических координат;
- САУ натяжения нити, полотна и т. п.

6. По типу силового привода:

- электромеханические;
- гидравлические;
- пневматические;
- с комбинированным приводом.

7. По типу регуляторов, применяемых в устройстве управления:

- с параметрически оптимизируемыми регуляторами класса «вход/выход»;
- с параметрически или структурно-параметрически оптимизируемыми регуляторами состояния;
- с комбинированными регуляторами.

8. По типу элементной базы устройства управления:

- на основе операционных усилителей в интегральном исполнении;
 - на основе логических (комбинационных и последовательностных) интегральных микросхем малой и средней степени интеграции;
 - на основе унифицированных блочных систем регуляторов;
 - на основе микропроцессорных комплектов БИС, микро-ЭВМ, микропроцессорных контроллеров, микропроцессорных комплексов технических средств управления, промышленных компьютеров и др.
- Сложные САУ характеризуются рядом черт:

- отсутствием или громоздкостью формального математического описания (поведение космического корабля в этом смысле более определено, чем поведение муравья);
- большим, подчас не поддающимся количественной оценке, числом параметров объекта управления;
- нестационарностью объекта управления (чем сложнее объект, тем он быстрее меняется);
- сложностью формализации цели управления и (или) противоречивостью целей управления отдельных подсистем;

- высокими требованиями к качеству управления (точности, быстродействию, энергетическим показателям САУ и т.п.);

- «нетерпимостью» к управлению (проявлением собственной воли) и невозпроизводимостью экспериментов.

Сложные САУ классифицируют также по функционально-структурным признакам.

1.3. Принципы построения систем автоматизации и управления

Введем базовые понятия.

Система (от греческого *systema*- целое, составленное из частей) – любой объект, который одновременно рассматривается, во-первых, как единое целое, и, во-вторых, как нечто, состоящее из множества связанных составных частей (элементов).

Элементы – части или компоненты системы, условно принятые неделимыми.

Связи – соединения между элементами системы (прямые или косвенные, последовательные или параллельные, алгебраические или дифференциальные, линейные или нелинейные и др.).

Любая система характеризуется структурой, параметрами и состоянием.

Структура – способ организации элементов в систему с помощью установления между ними взаимосвязей.

Структуры систем управления (СУ) характеризуют внутреннее строение системы и описывают устойчивые связи между ее элементами.

При описании СУ пользуются следующими видами структур, отличающимися типами элементов и связей между ними:

функциональная (элементы – функции, задачи, операции; связи – информационные);

техническая (элементы – устройства; связи – линии связи);

организационная (элементы – коллективы людей и отдельные исполнители; связи – информационные, соподчинения и взаимодействия);

алгоритмическая (элементы – алгоритмы; связи – информационные);

программная (элементы – программные модули; связи – информационные и управляющие);

информационная (элементы – формы существования и представления информации в системе; связи – операции преобразования информации в системе).

Параметры – свойства (качества) системы, позволяющие описывать систему и выделять ее из окружающей среды и других систем.

Состояние – совокупность значений параметров системы, существенных с точки зрения решаемой задачи.

Среда – множество элементов и систем за пределами рассматриваемой системы.

Целостность системы проявляется в том, что она определенным образом выделена из среды и обладает свойствами, которыми не обладают составляющие ее элементы.

Математическая модель любой системы может быть представлена в виде графа (рис. 1.1).

Элементы системы представлены вершинами, а связи между ними – дугами. В зависимости от направления различают входные и выходные воздействия (входы и выходы элементов). Свойства элемента характеризуются преобразованием входных воздействий в выходные. Связи между элементами задаются соответствующими уравнениями. Топология графа отражает структуру системы.

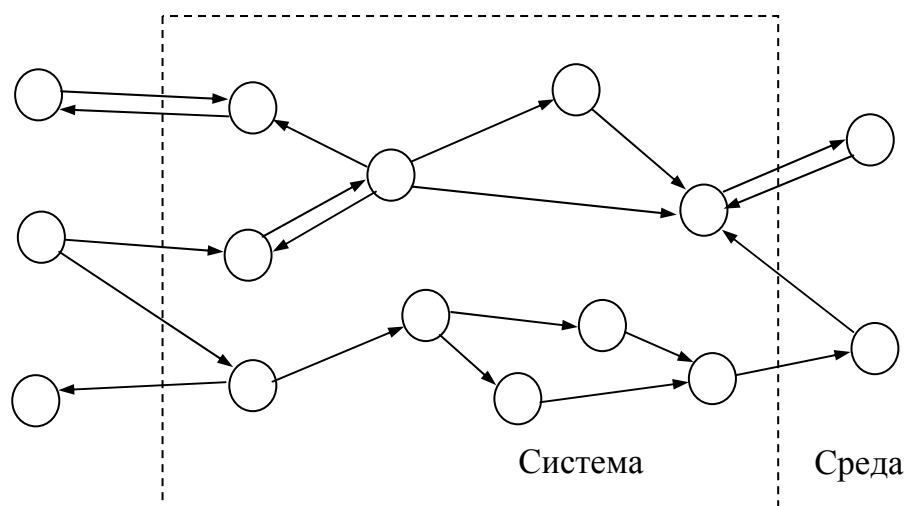


Рис. 1.1. Представление системы в форме графа

Система, имеющая внешнюю среду, называется открытой, в противном случае – изолированной (концепция изолированности систем используется крайне редко).

Достаточно серьезной считается проблема выделения системы (объекта исследования или управления) из среды, т. к. всегда возни-

кает проблема обоснованности включения тех или иных элементов в систему. Более того, в зависимости от характера решаемой проблемы один и тот же физический объект (например цех) может быть представлен в виде различных систем (для конструктора, технолога, социолога, экономиста и др. это разные системы).

В информационно-управляющей, вычислительной технике понятие системы имеет множество смысловых оттенков. Под системой понимают и совокупность программно-аппаратных (программно-технических) средств, и совокупность только аппаратных компонентов, и совокупность только программных продуктов (например операционные системы и компиляторы).

Относительность точки зрения на систему проявляется также в том, что одну и ту же совокупность элементов можно рассматривать либо как систему, либо как часть некоторой, более крупной системы. В последнем случае множество элементов крупной системы делят на ряд подмножеств, образующих подсистемы. На рис 1.2 приведен вариант разбиения некоторой системы $S = \{X1, \dots, X8\}$, где $X1, \dots, X8$ - элементы $1, \dots, 8$ системы, на 3 подсистемы $S1, S2, S3$, т.е. $S = \{S1, S2, S3\}$.

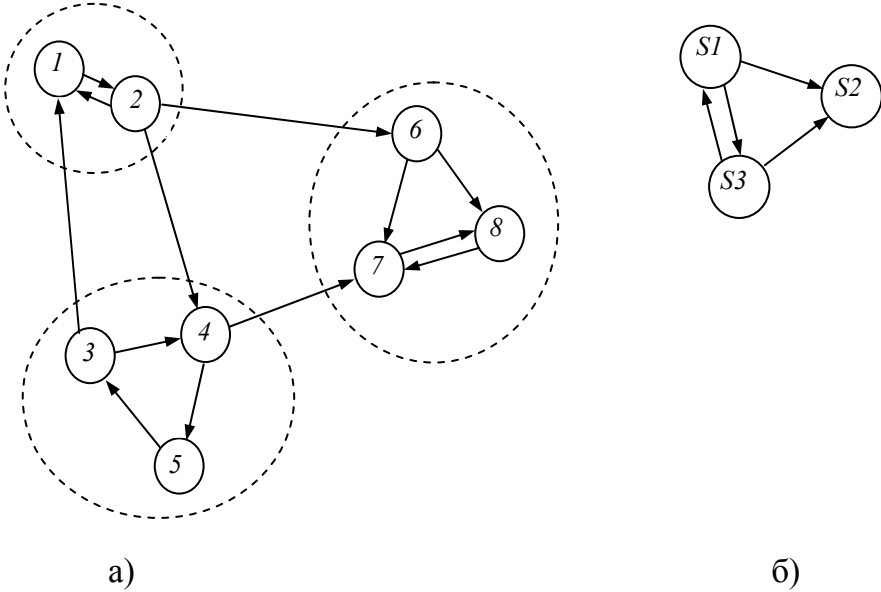


Рис. 1.2. Разбиение системы на подсистемы

Таким образом, каждая система может рассматриваться либо как собственно система, либо как подсистема. В последнем случае вводят понятие иерархии системы, т.е. элементами системы i -го уровня являются системы $(i+1)$ -го уровня (рис. 1.3).

Процесс формирования той или иной подсистемы называется ее композицией, а процесс вычленения ее из подсистемы более высокого уровня – декомпозицией подсистемы.

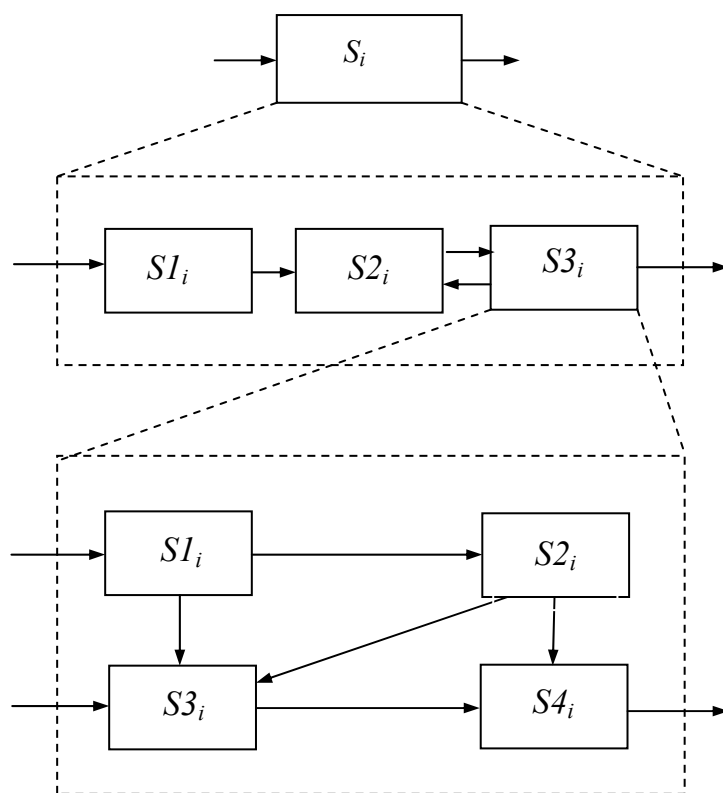


Рис. 1.3. Иерархия подсистем

Моделью называют отображение определенных характеристик объекта с целью его изучения (исследования). Модель позволяет выделить из всего спектра проявлений объекта лишь те, которые наиболее существенны с точки зрения решаемой задачи.

Например, в задачах синтеза и анализа систем управления модель одного и того же объекта может быть разной степени детализации (в задачах синтеза модель объекта обычно более простая). Центральной проблемой моделирования систем является разумное упрощение модели, т.е. выбор степени подобия модели и объекта.

Система B считается изоморфной относительно системы A , если ее элементы и связи находятся во взаимно однозначном соответствии с элементами и связями системы B . Каждый из этих объектов может служить моделью другого и не имеет значения, какой из них будет изучаться.

Система B будет гомоморфной относительно системы A , если несколько элементов и связей в системе A отображаются одним элементом и связью в системе B , т.е. гомоморфный образ является упрощенной моделью (частным описанием) отображаемой системы. Обычно модель конструируется как гомоморфный образ объекта и как изоморфный образ изучаемых свойств.

Различают физические и абстрактные модели. К первым относят, в частности, макеты изучаемых объектов, ко вторым – модели, имеющие формальное описание на том или ином языке моделирования (естественном языке, языке схем, чертежей, математическом языке и др.). Модели, составленные с использованием языковых средств математики, называют математическими моделями (ММ).

Микроанализ системы – изучение (моделирование) системы в предположении, что все ее элементы и связи доступны для наблюдения. Сводится к изучению структуры и свойств элементов.

Макроанализ системы – изучение (моделирование) системы в предположении, что далеко не все элементы и связи системы известны. Сводится к построению модели в виде «черного ящика» (макромодели) и изучению ее свойств во взаимодействии с окружающей средой.

Система управления – система, в которой осуществляется целенаправленный процесс управления объектом. На рис. 1.4 приведена обобщенная функциональная схема системы управления.

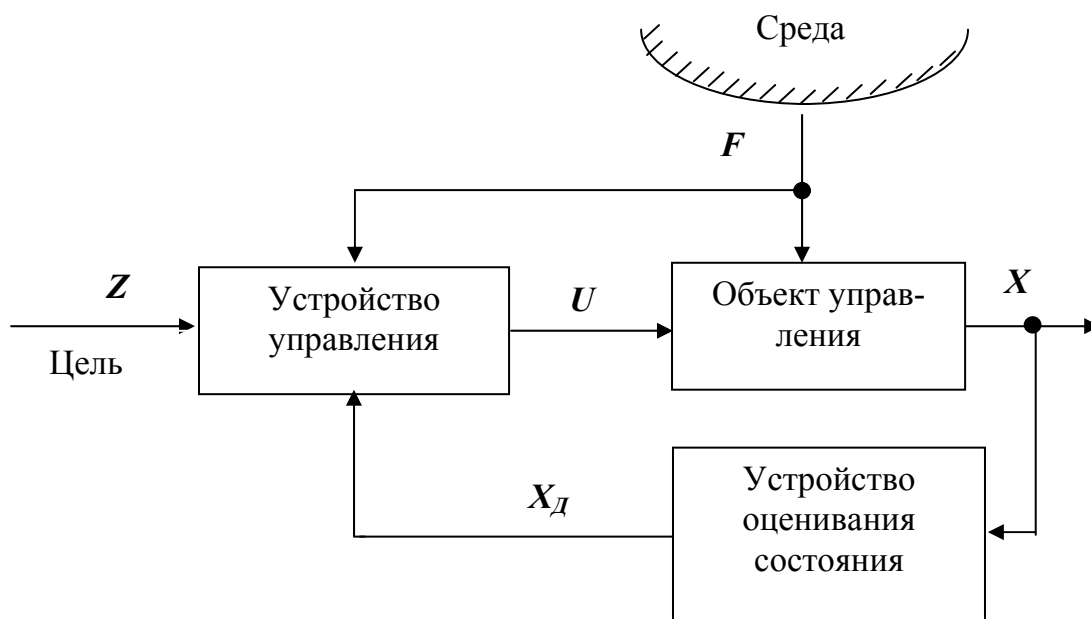


Рис. 1.4. Обобщенная функциональная схема системы управления

В структурном аспекте объект управления – управляемая подсистема. Им может быть отдельный станок, бригада рабочих, цех, предприятие, отрасль и т. п. Аналогично в структурном аспекте устройство управления – управляющая подсистема. В качестве устройства управления можно рассматривать специализированное устройство управления, оператора станка, управленческий персонал цеха, предприятия или министерства.

Объект управления представлен в виде открытой системы и взаимодействует с внешней средой. Воздействие окружающей среды на объект управления называется возмущающим воздействием (контролируемым или неконтролируемым, детерминированным или стохастическим) и представлено в виде вектора аддитивных воздействий F .

Устройство оценивания состояния обеспечивает непосредственное или косвенное измерение координат состояния объекта управления. Оно может быть реализовано в виде полного или редуцированного наблюдающего устройства.

Устройство управления обеспечивает целенаправленное (оптимальное или квазиоптимальное в смысле некоторого критерия качества) управление на основе информации о заданном (Z) и текущем (X_d) состоянии объекта управления и состоянии среды (F), т.е. $U = \varphi (Z, X, F)$, где φ – оператор (алгоритм) управления.

Алгоритм управления – недвусмысленное правило, инструкция, указание, что и как следует делать, чтобы добиться заданной цели управления в условиях изменения вектора состояния управляемого объекта и вектора возмущающих воздействий.

Цель управления – формальный критерий качества управления. В общем виде формулируется так: $J = J \{X(t), F(t), U(t)\}$.

Понятие системы автоматизации, как и системы, имеет разную трактовку. Под системой автоматизации будем подразумевать систему, в которой реализуется автоматизированное управление, т.е. процесс управления, в котором часть функций управления выполняется человеком, другая – автоматическими устройствами. Поскольку основные принципы построения производственных систем автоматизации и управления одни и те же, представляется целесообразным в дальнейшем оперировать единым понятием «системы автоматизации и управления» (САУ).

Задача управления в общем случае формулируется следующим образом: найти такой вектор управления $U(t)$, который обеспечивал бы достижение цели управления $J = J \{X^*(t), X(t), F(t), U(t)\}$ при заданных ограничениях на координаты задающих воздействий ($X^*(t) \in Z(t)$), координаты состояния объекта управления ($X(t) \in A(t)$), координаты возмущающей среды ($F(t) \in B(t)$) и ресурсы управления ($U(t) \in C(t)$), где $Z(t)$, $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ – замкнутые пространства соответственно векторов желаемого и текущего состояния, возмущения и управления.

Задачу управления можно сформулировать в несколько иной форме: найти и реализовать функциональную зависимость (алгоритм управления) $U(t) = U\{X^*(t), X(t), F(t)\}$, обеспечивающую наилучшее приближение к заданному критерию качества управления и ограничениям на координаты и ресурсы управления.

Система автоматического регулирования (САР) – простейшая система автоматического управления одной координатой, не содержащая программатора. САР может иметь один или несколько контуров регулирования. Задача регулирования формулируется аналогично задаче управления: найти закон регулирования

$$U(t) = U\{\varepsilon(t)\},$$

где $\varepsilon(t)$ – текущая ошибка регулирования, $\varepsilon(t) = X^*(t) - X(t)$, обеспечивающий достижение экстремума критерия $J = J \{\varepsilon(t)\}$ при заданных ограничениях на координаты и ресурсы управления.

Таким образом, процесс управления САУ включает следующую последовательность действий:

1. Определение программы управления, т.е. выработка программной траектории $X^*(t)$ движения системы в допустимой области изменения вектора состояния САУ (этап планирования).
2. Оценивание (измерение) векторов состояния и возмущения $X(t)$, $F(t)$ (этап контроля).
3. Формирование управляющего воздействия, т.е. определение оптимального в смысле принятого критерия качества управления (этап принятия решений) в виде $U(t) = U\{X^*(t), X(t), F(t)\}$.
4. Реализация управляющего воздействия, т.е. целенаправленное воздействие на объект управления (этап собственно управления).

1.4. Функциональные и технические структуры САУ

Различают внутреннюю и внешнюю технические структуры САУ.

Внутренняя техническая структура современных САУ содержит:

- блоки памяти (от уставок реле и напряжений до устройств хранения программ и данных, записанных на магнитных и электронных носителях информации);
- блоки текущей информации (датчики координат состояния объекта управления, датчики технологических координат, устройства преобразования, кодирования и передачи первичной информации);
- блоки управления, формирующие сигналы оптимального управления на основе преобразования исходной (заданной) и текущей информации;
- блоки связи ЭВМ с объектом управления (модули ввода/вывода информации) и иными периферийными устройствами, в частности сетевыми аппаратными средствами.

Внешняя техническая структура САУ определяется ее функциональной структурой. Различают следующие функциональные структуры САУ и АСУ ТП:

- локальные и иерархические;
- централизованные и распределенные;
- узловые;
- комплексные;
- АСУ предприятием и отрасли промышленности (АСУ П и АСУ ОП).

Взаимосвязь и соподчиненность различных функциональных структур САУ определяется иерархией системы. Ниже рассмотрены обобщенные функциональные структуры локальной, централизованной и иерархической САУ.

1.4.1. Функциональная структура локальной САУ

Наиболее простой структурной организацией САУ являются одноуровневые децентрализованные системы контроля и управления. В таких системах каждый производственный участок, технологическая

установка снабжаются индивидуальным пунктом управления (ПУ), который оснащается индикаторными и регистрирующими приборами (автоматический контроль и индикация) либо регуляторами технологических координат (параметров). На ПУ размещается также коммутационная аппаратура дистанционного управления оборудованием, элементы защиты и т. п. Такие ПУ размещают, как правило, в непосредственной близости от объекта управления, что позволяет сократить длину линий связи. ПУ обслуживаются одним оператором (постоянным или работающим в режиме обходчика). Такого рода децентрализованные САУ называют локальными.

Дополняя и во многом заменяя человека-оператора, любая САУ копирует его функциональную структуру. Обобщенная структура локальной интерактивной (человеко-машинной) САУ приведена на рис. 1.5.

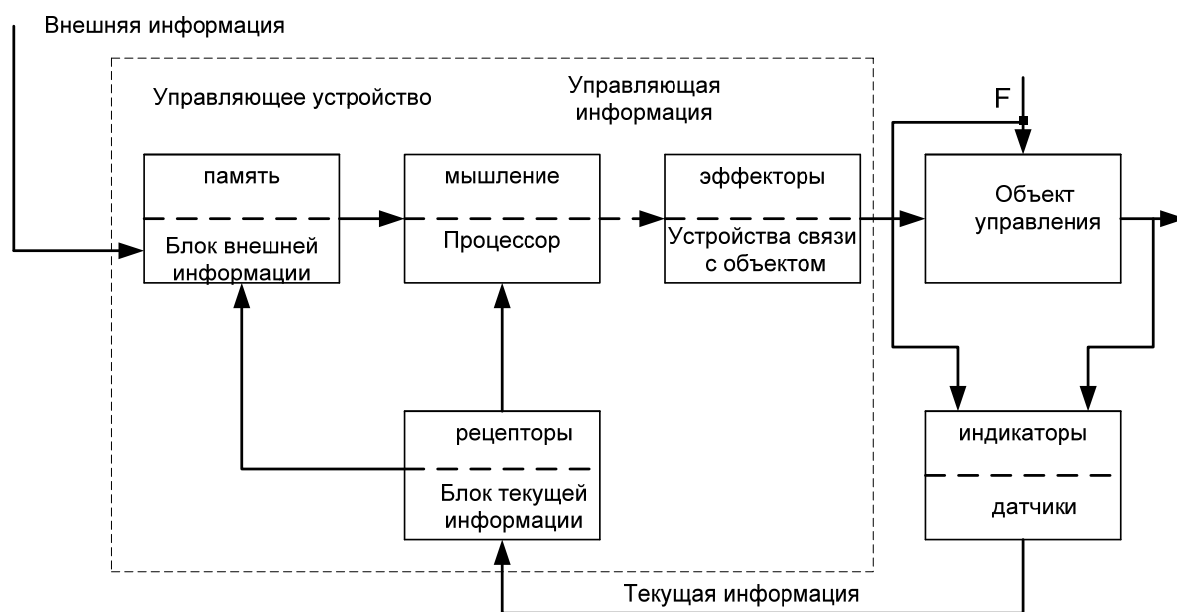


Рис. 1.5. Функциональная структура локальной САУ

Для выполнения заданных операций оператор должен получить ряд сведений, которые принято называть внешней информацией. Эта неизменная информация хранится в памяти оператора и включает основные характеристики объекта управления (технологического процесса) и порядок выполнения операций управления в нормальных и аварийных (нештатных) режимах. За изменением координат объекта управления (параметров технологического процесса) оператор следит

с помощью органов-рецепторов, из которых наибольшую нагрузку несет зрение. Человеку приходится наблюдать за показаниями индикаторов состояния объекта управления, а также реагировать на звуковые (световые) сигналы при фиксации системой предельно-допустимых уровней ряда координат САУ. Далее оператор сопоставляет исходную и текущую информацию и принимает решение (функция центральной нервной системы), реализуя с помощью эффекторов (рук, ног, голоса) команды управления.

Аналогичные функции (информационную и управляющую) выполняет любая локальная САУ. Сбор, переработку, хранение текущей информации, а также выработку управляющей информации осуществляет процессор.

Сложность элементов внутренней технической структуры САУ находится в тесной связи с характером и степенью сложности объекта управления (технологического процесса).

Примерами локальных САУ можно назвать системы размотки кабелей с резиновой изоляцией с кабельных барабанов, намотки брони и укладки бронированного кабеля на приемный барабан.

1.4.2. Функциональная структура централизованной САУ

Имевшаяся в конце 20-го века тенденция к централизации управления (вопрос технико-экономической целесообразности подобного управления «всем и вся» здесь не обсуждается) привела к созданию систем централизованного управления (контроля). На рис. 1.6 приведен вариант функциональной схемы такой САУ. Информация о технологических параметрах производственного процесса поступает на пульт оператора в виде, удобном для восприятия. Все контролируемые параметры обычно делят на четыре категории:

- параметры, значения которых измеряются постоянно и отображаются в том или ином виде на центральный пункт управления (ЦПУ);

- параметры, значения которых измеряются и отображаются на ЦПУ через определенные промежутки времени;

- параметры, значения которых индицируются (регистрируются, запоминаются в блоках памяти) по запросам оператора;

- параметры, значения которых не измеряются, а фиксируются (регистрируются, запоминаются в блоках памяти) отклонения их зна-

чений от заданных или (и) осуществляется сигнализация (звуковая, световая, цветовая и т.п.) превышения параметрами предельно допустимых значений.

С ЦПУ оператор имеет возможность дистанционно изменять задающие воздействия (уставки) локальных регуляторов, воздействовать непосредственно на исполнительные механизмы, выборочно контролировать параметры технологического процесса.

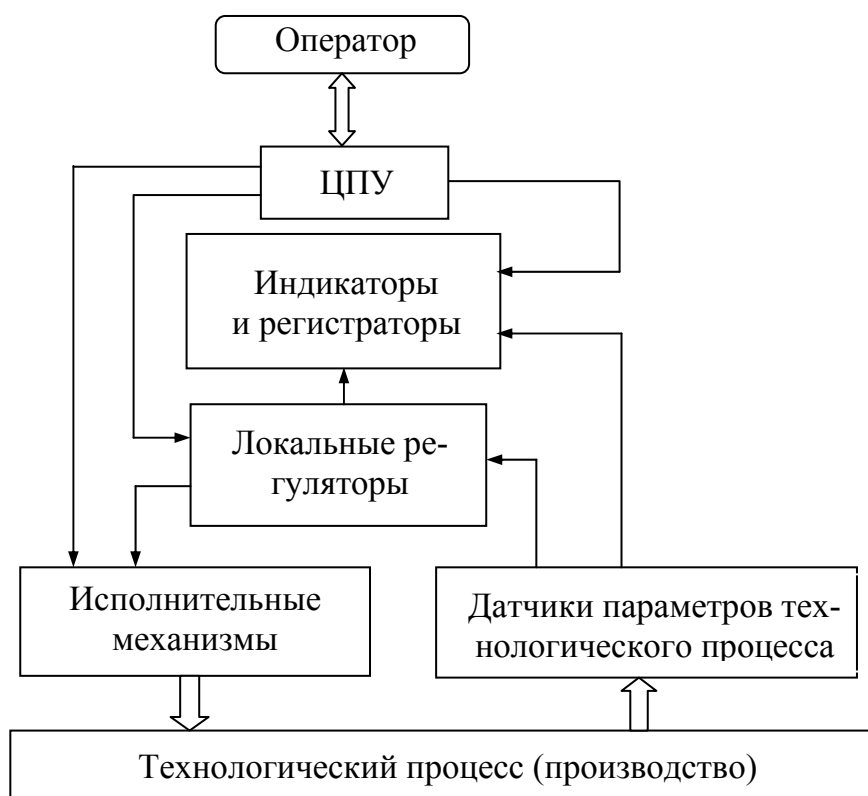


Рис. 1.6. Функциональная структура централизованной САУ

Как правило, центральный пункт оборудуется устройствами оперативной связи с технологическими участками и различными производственными службами. Это позволяет оператору использовать дополнительную информацию для координации организационной (диспетчерской), производственно-технологической деятельности. ЦРП обычно выполняются по щитовому принципу (все основные средства отображения информации располагаются на приборных щитах и пультах в виде мнемосхем, регистрирующих приборов, индикаторов, приборов контроля и сигнализации и т.п.). Такая САУ может представлять собой довольно сложную систему оперативно-диспетчерского контроля и управления. Применение ЭВМ в подоб-

ных системах позволяет существенно облегчить оператору восприятие информации за счет использования многооконных графических интерфейсов пользователя (*Graphic User Interface*).

1.4.3. Функциональная структура иерархической САУ

Иерархическая САУ определяет порядок подчинения взаимосвязанных подсистем общей системы. Сущность иерархического принципа состоит в том, что каждый из уровней вырабатывает задание-уставку, обязательную для подчиненного ему уровня. На рис. 1.7 приведена функциональная структура автоматизированного комплекса на базе локальных и узловых САУ (АСУ ТПЛ и АСУ ТПУ).

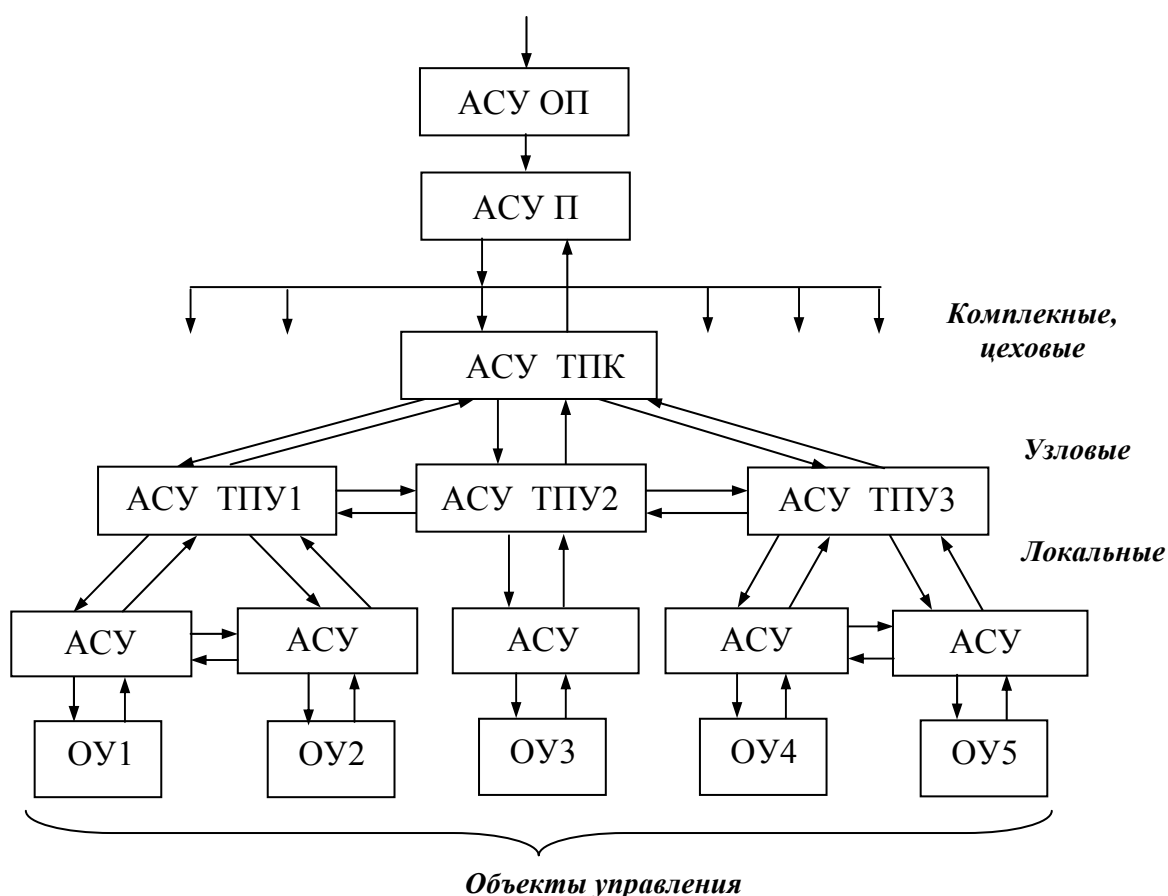


Рис. 1.7. Функциональная структура иерархической САУ

В связи с непрерывным и бурным совершенствованием программно-технических средств управления, развитием сетевых технологий возникла тенденция замены иерархической структуры управления на алгоритмическую (иерархическую структуру приобретает алгоритм работы управляющей ЭВМ). Функциональная структура САУ (АСУ ТП) в этом

случае может иметь централизованный характер (прямое цифровое управление объектами с помощью общего вычислительного управляющего комплекса) или распределенный характер (функции управления объектами распределяются между ЭВМ различного уровня). С повышением ранга уровня усложняются решаемые задачи.

Применение ЭВМ как средства автоматизации не исключает использования на каждом уровне иерархии управления автономных систем автоматического контроля, индикации, регуляторов отдельных технологических параметров. Выбор уровня автоматизации функций управления и технических средств их реализации определяется массой факторов, основными из которых являются экономическая эффективность и технологическая целесообразность.

1.4.4. Функциональные структуры САУ в зависимости от способа включения ЭВМ в контур управления

Включение ЭВМ в контур управления позволяет выделить четыре основные структуры САУ, различающиеся характером функций управления производством (технологическим процессом). Рассмотрим их.

ЭВМ в режиме сбора и обработки данных

Структура такой САУ показана на рис.1.8. Системы сбора и обработки данных во многом аналогичны системам централизованного контроля, являясь более высокой ступенью их организации. Математическое обеспечение ЭВМ содержит библиотеку рабочих программ, каждая из которых выполняет конкретные функции централизованного контроля, и программу-диспетчер.

Порядок выполнения рабочих программ определяет программа-диспетчер, она зависит от текущих значений технологических параметров (прерывание программного режима обычно реализуют при возникновении нештатных, в том числе аварийных технологических режимов). Сигнал прерывания может поступать не только от датчиков, но и от оператора при реализации диалогового режима общения оператора с ЭВМ (режима типа «запрос-ответ»). Как правило, в фоновом режиме работы ЭВМ реализует обработку прерываний от клавиатуры, причем та или иная информация выводится на экран монитора (дисплея) при нажатии определенных «горячих» клавиш или их сочетаний. Информация, выводимая на экран монитора, может выдаваться в виде текстовых сообщений, графиков, таблиц, мнемосхем и т.п. Средства визуализации

информации постоянно совершенствуются, причем многие специализированные программные пакеты информационно-измерительных систем имеют высочайшую степень информативности.

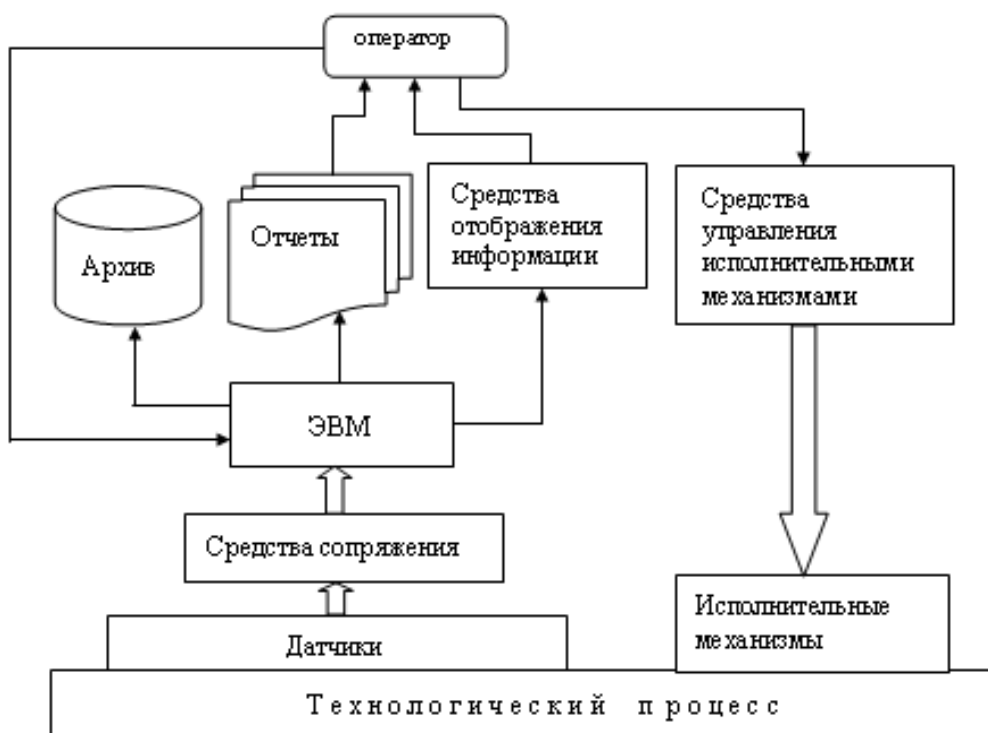


Рис. 1.8. ЭВМ в режиме сбора и обработки данных

Системы сбора и обработки информации применяются при управлении производственными установками и технологическими процессами в тех случаях, когда сложность формализации задачи оптимального управления (сложность объекта управления, противоречивость критериев управления, потребность в экспертных оценках показателей качества управления и др.) требует вмешательства оператора в процесс управления.

ЭВМ в режиме советчика

Структура такой САУ совпадает с рассмотренной выше. В системах-советчиках данные о технологических режимах (параметрах) и управляющих воздействиях поступают через средства отображения информации в форме рекомендаций оператору, который может принять их или отвергнуть.

При выборе того или иного решения оператор основывается на собственном опыте управления и понимании хода технологического

процесса. Для облегчения выбора решения оператор может запросить у ЭВМ дополнительные сведения о ходе технологического процесса, необходимую справочную, нормативную информацию, смоделировать (спрогнозировать) развитие ситуации при изменении задающих воздействий (уставок) локальных САУ. Как правило, непрерывный технологический процесс предполагает, что при игнорировании оператором вариантных сообщений ЭВМ (невмешательстве оператора) развитие процесса осуществляется «по умолчанию», т.е. по основному (штатному) варианту. Таким образом, неотъемлемым атрибутом системы-советчика является диалоговый режим работы оператора с ЭВМ.

ЭВМ в режиме супервизорного управления

САУ, функционирующая в таком режиме супервизорного управления, имеет двухуровневую иерархическую структуру (рис. 1.9).



Рис. 1.9. ЭВМ в режиме супервизорного управления

На нижнем уровне управления локальные регуляторы обеспечивают управление отдельными технологическими параметрами (координатами), воздействуя на соответствующие исполнительные механизмы. На верхнем уровне управления ЭВМ обеспечивает оптимизацию технологических режимов и выработку уставок локальных регуляторов. Входной информацией ЭВМ являются сигналы датчиков от-

дельных локальных подсистем управления и датчиков ряда технологических параметров, а также корректирующие воздействия оператора. Супервизорное управление, как правило, предполагает наличие адекватной математической модели (моделей) процесса и формальной цели управления. В этом случае ЭВМ решает задачу оптимального управления технологическим процессом. Если математическая модель процесса отсутствует (для сложных объектов управления такая ситуация типична), то ЭВМ берет на себя функцию поиска экстремального (активного или пассивного) управления посредством направленного перебора (метод проб и ошибок) вариантов решений.

Супервизорное управление в принципе позволяет осуществить автоматическое управление технологическим процессом (объектом). При этом роль оператора сводится к наблюдению за процессом (установкой) и в случае необходимости к корректировке цели управления, ограничению технологических координат.

ЭВМ в режиме непосредственного управления

Структура такой САУ приведена на рис. 1.10. В отличие от супервизорного управления здесь ЭВМ берет на себя функции локальных регуляторов с задаваемыми уставками, вырабатывая непосредственно управляющие воздействия исполнительными механизмами.

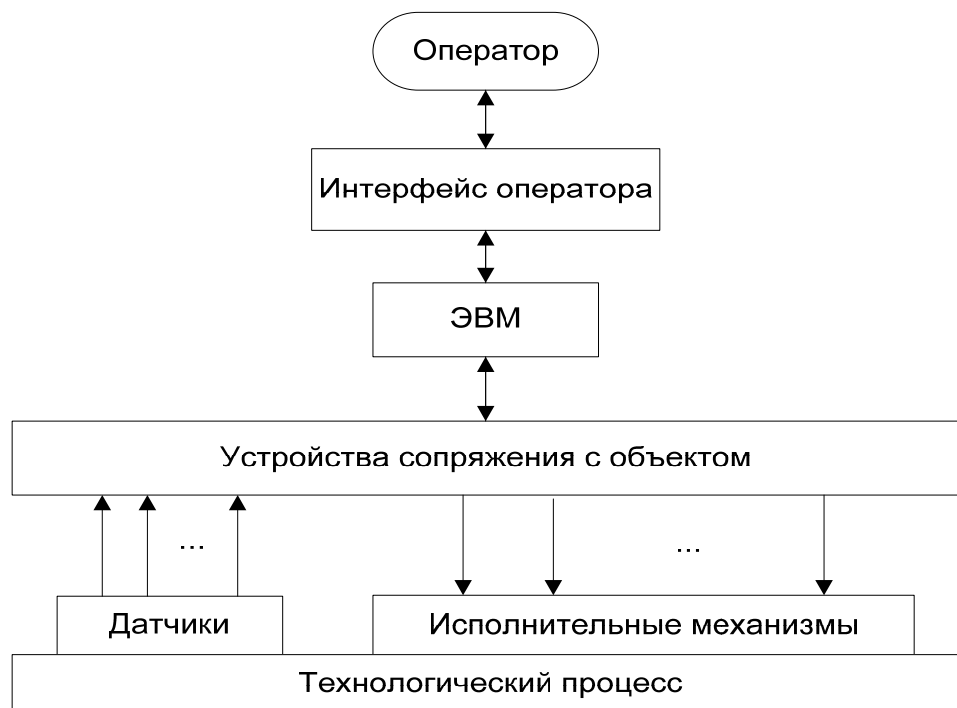


Рис. 1.10. ЭВМ в режиме непосредственного управления

Функции оператора при непосредственном управлении сводятся к наблюдению за процессом и при необходимости к коррекции управления, т. е. реализуется автоматическое управление процессом.

Глава 2. КОМПЬЮТЕРНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

2.1. Основные понятия

Подготовка любого производства состоит из научного, организационного, конструкторского и технологического этапов.

Технологическая подготовка включает комплекс работ, обеспечивающих наиболее эффективное применение новых, высокопроизводительных технологических процессов (ТП) с использованием передовых достижений науки и техники на базе максимальной механизации и автоматизации.

Под технологической подготовкой производства (ТПП) в общем случае понимается комплекс работ по обеспечению технологичности конструкции запускаемого в производство изделия, проектированию технологических процессов и средств технологического обеспечения, расчету технико обоснованных материальных и трудовых нормативов, необходимого количества технологического оборудования и производственных площадей, внедрению технологических процессов и управлению ими в производствах, обеспечивающих возможность выпуска нового изделия в заданных объемах [11,12].

Цель технологической подготовки – достижение в процессе изготовления продукции оптимального соотношения между затратами и получаемыми результатами.

Одним из важнейших элементов ТПП является отработка на технологичность конструкций деталей, узлов, машин и механизмов.

Технологичной будет такая конструкция, которая не только полностью удовлетворяет эксплуатационным требованиям, но и обеспечивает применение высокопроизводительных методов изготовления изделий, рациональное использование оборудования и материалов, простоту изготовления и повторяемость деталей и сборочных единиц.

Процесс ТПП состоит из эвристических и формализованных методов. Эвристические методы базируются на различных идеях, интуитивном мышлении, способности к изобретательству. Эти методы

реализуются высококвалифицированными инженерами. Формализованные методы, которые основываются на физико-математических закономерностях, широко используются при автоматизации ТПП.

2.2. Нормативные документы единой системы технологической подготовки производства

Во многих отраслях промышленности накоплен опыт системного подхода к процессу подготовки производства. Эти предпосылки позволили поставить проблему создания единой системы технологической подготовки производства (ЕС ТПП), регламентирующей состав ТПП на предприятии, организацию и управление процессом ТПП.

ЕС ТПП предусматривает применение типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки, агрегатного переналаживаемого оборудования, средств автоматизации инженерно-технических работ. Она взаимодействует с системами разработки и поставки продукции на производство, предусматривает широкую унификацию машин и приборов, обеспечение единства измерений, классификацию и кодирование технико-экономической информации (ЕСКК), а также унификацию документации согласно стандартам единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и единой системы технологической документации (ЕСТД).

В стандартах ЕС ТПП особое внимание уделено автоматизации технологической подготовки производства.

2.3. Разработка технологических процессов

Различают три вида ТП: единичный, типовой, групповой. Каждый технологический процесс разрабатывается при подготовке производства изделий, конструкции которых отработаны на технологичность.

Групповой технологический процесс предназначен для совместного изготовления группы изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах. Групповой технологический процесс разрабатывается с целью экономически целесообразного применения методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств.

Типовой технологический процесс характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических операций для группы изделий, обладающих общими конструктивными признаками. Типизация технологических процессов основана на разделении деталей и изделий на отдельные группы, для которых возможна разработка общих технологических процессов или операций.

ТП разрабатывается для изготовления нового изделия или совершенствования выпускаемого.

Основой для нового технологического процесса обычно служит имеющийся типовой или групповой ТП. Если таковые отсутствуют, то за основу берут действующие единичные ТП изготовления аналогичных изделий.

Технологический процесс должен соответствовать требованиям техники безопасности и промышленной санитарии по системе стандартов безопасности труда, инструкций и других нормативных документов.

Исходную информацию для разработки ТП подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

Базовая информация включает данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие, и программу его выпуска.

Руководящая информация содержит:

- требования отраслевых стандартов к ТП и методам управления ими;
- стандарты на оборудование и оснастку;
- документацию на действующие единичные, типовые и групповые ТП;
- классификаторы технико-экономической информации;
- производственные инструкции;
- материалы по выбору технологических нормативов (режимов обработки, норм расхода материалов и др.);
- документацию по технике безопасности и промышленной санитарии.

Справочная информация:

- технологическая документация опытного производства;
- описания прогрессивных методов изготовления;
- каталоги, паспорта, справочники, альбомы прогрессивных средств технологического оснащения.

Исходные данные для проектирования технологических процессов сборки:

- сборочные чертежи изделия;
- спецификация входящих в узлы деталей;
- размер производственного задания и срок его выполнения;
- условия выполнения сборочных работ.

Степень углубленности проектирования технологического процесса зависит от масштаба выпуска изделий: в единичном и мелкосерийном производствах разрабатывают упрощенный вариант без детализации содержания операций. При массовом производстве изделий технологический процесс разрабатывают детально с проектированием операционной технологии.

2.4. Методы реализации технологической подготовки производства

В настоящее время на машиностроительных предприятиях используют следующие методы реализации ТПП: управление технологической подготовкой производства, вариантного, адаптивного и нового планирования. Следует отметить, что границы методов весьма условны. Возможно сочетание отдельных элементов различных методов.

Выбор метода для конкретной задачи зависит от условий производства, способов изготовления, назначения изделий, а также от субъективных факторов.

Управление ТПП

Метод управления ТПП заключается в организации хранения информации по технологическим маршрутам в соответствии с определенной системой классификации и кодирования и выбора нужной информации в соответствии с требованием заказа.

Этот метод применяется в качестве повторного планирования. Его область применения ограничена, так как повторяемость обрабатываемых деталей, как правило, невелика.

Вариантное планирование

Исходной предпосылкой данного метода является разбиение инженерами-технологами деталей на классы. В каждый класс входят детали, изготавливающиеся по аналогичной технологии. В каждом классе выделяются детали-представители, которые являются обоб-

ценными представителями, включающими все специфические особенности каждой детали. Для такой детали-представителя разрабатывается стандартный технологический маршрут. Для каждой конкретной детали данного класса выбирается вариант стандартного маршрута, являющегося его подмножеством.

Вариантное планирование предусматривает возможность уточнения стандартного маршрута путем изменения параметров процесса в определенных границах. Увеличение числа обрабатываемых элементов не допускается.

Адаптивное планирование

Первым этапом данного метода будет построение некоторого множества технологических маршрутов инженерами-технологами. На этапе технологического проектирования осуществляется поиск наиболее близкого к заданному технологического маршрута из имеющихся с помощью определенного классификатора. Далее выбранный технологический маршрут адаптируется к конкретным требованиям заказчика путем добавления, удаления, изменения отдельных шагов.

Метод нового планирования

Позволяет вести разработку технологических маршрутов для подобных и новых деталей в соответствии с общими и специфическими данными и правилами технологического проектирования. Основой этого служат описания деталей и требования, предъявляемые к ее обработке. Анализ этих требований позволяет выявить возможные пути решения технологических задач и в соответствии с определенными критериями выбрать метод решения. Таким образом, этот метод является и генерирующим, и оптимизирующим. Он наиболее ценен в связи с этим и наиболее сложен для автоматизации.

Поскольку технологические процессы механообработки и сборки существенно различаются, рассмотрим основные этапы метода нового планирования для этих случаев отдельно.

Основные этапы разработки технологического процесса механообработки методом нового планирования следующие:

1. Анализ исходных данных. По имеющимся сведениям о программе выпуска и конструкторской документации на изделие изучаются назначение и конструкция изделия, требования к его изготовлению и эксплуатации.

2. Выбор заготовки. По классификатору заготовок, методике расчета и технико-экономической оценке выбора заготовок, стандартам и техническим условиям на заготовку и основной материал выбирают исходную заготовку и методы ее изготовления. Дается технико-экономическое обоснование выбора заготовки.

3. Выбор технологических баз. Производится оценка точности и надежности базирования. Используют классификаторы способов базирования и существующую методику выбора технологических баз.

4. Составление технологического маршрута обработки (по документации типового, группового или единичного ТП). Определяют последовательность технологических операций и состав технологического оснащения.

5. Разработка составов технологических операций и расчет режимов обработки. На основании документации (типовых, групповых или единичных технологических операций) и классификатора технологических операций составляют последовательность переходов в каждой операции.

6. Выбор основного оборудования. Здесь используются спецификации оборудования, данные о параметрах обработки. В соответствии с заданными критериями определяется оборудование, на котором должен быть выполнен конкретный технологический переход. При выборе станка производится дополнительная проверка технических и экономических условий использования.

В качестве технических критериев могут использоваться:

- параметры рабочей зоны станка, которые определяют максимально возможную массу детали (или размеры);
- требуемое качество обработки.

7. Выбор вспомогательных средств. Используются каталоги с данными по инструменту, приспособлениям, средствам контроля. Инструменты, приспособления, зажимные устройства характеризуются как вспомогательное оборудование, так как они определяются основным оборудованием в соответствии с параметрами обрабатываемой позиции. В технологическом маршруте должны постоянно присутствовать данные о необходимых вспомогательных средствах для реализации каждого технологического перехода.

8. Составление программ для станков с ЧПУ.

9. Нормирование ТП. Устанавливаются исходные данные расчета норм времени и расхода материалов; производится расчет и нормирование труда на выполнение процесса, расчет норм расхода материалов; определяется разряд работ и профессии исполнителей операций (используют нормативы времени и расхода материалов, классификаторы разрядов работ и профессий).

10. Обеспечение требований техники безопасности и производственной санитарии. Используются стандарты системы безопасности труда, инструкции.

11. Выбор оптимального ТП из нескольких вариантов по методике расчета экономической эффективности. При разработке ТП ручными методами количество вариантов невелико. Использование автоматизированных методов позволяет получить более рациональные решения.

12. Оформление технической документации.

Основные этапы разработки технологического процесса сборки методом нового планирования следующие.

1. Расчет такта сборки и выбор организационных форм сборочного процесса. Такт сборки – частное от деления расчетного фонда (за смену, месяц и т. п.) на программу выпуска изделий за тот же период. Организационная форма – не поточная (стационарная) – при единичном производстве; поточная – при серийном и массовом.

2. Составление технологических схем сборки узлов и изделия в целом, в которых указывается последовательность сборки изделия и его узлов.

3. Проектирование технологических операций сборки: уточняют содержание технологических переходов; определяют схему закрепления базового элемента (детали, узла); выбирают технологическое оборудование, приспособления, рабочий и измерительный инструмент; устанавливают режимы работы, норму времени и разряд работы.

4. Определение состава контрольных операций и испытаний.

5. Обоснование эффективности сборочного процесса. Оценку разработанных вариантов технологических процессов производят, используя абсолютные и относительные показатели. Абсолютные – себестоимость отдельных операций и процесса сборки в целом и тру-

доемкость сборки узлов и изделия. Относительные – коэффициент загрузки каждого сборочного места, коэффициент загрузки сборочной линии, коэффициент трудоемкости сборочного процесса (отношение трудоемкости сборки к трудоемкости изготовления деталей, входящих в сборочный элемент).

6. Оформление технологической документации.

7. Проектирование специальной технологической оснастки, в том числе подъемно-транспортных средств.

8. Разработка технологической планировки сборочного цеха.

Конечным результатом технологической подготовки производства является получение технологической документации, необходимой для осуществления производственной деятельности. К такой документации относятся маршрутные карты, операционные карты и другие документы, правила оформления которых регламентируются системой ГОСТов ЕСТД. Основным технологическим документом является маршрутная карта (МК).

2.5. Автоматизация технологической подготовки производства

2.5.1. Общие положения

Процесс ТПП, как один из этапов проектирования, может быть автоматизирован. При этом различные задачи ТПП поддаются автоматизации в различной мере.

Такие задачи, как расчет себестоимости техпроцесса, временные затраты могут решаться в автоматическом режиме.

Задачи выбора основного оборудования, оснастки и средств контроля могут быть решены, как правило, в диалоговом режиме.

Построение технологических маршрутов может быть осуществлено в диалоговом режиме, но часто, особенно при разработке новых технологий – только в ручном.

Кроме автоматизации традиционных задач ТПП, использование вычислительной техники позволяет решать новые задачи, значительно повышающие качество ТПП. Это моделирование технологического процесса, разработанного на этапе ТПП, путем соответствующих расчетов и визуализации средствами машинной графики.

Важнейшим преимуществом АСТПП по сравнению с ручной ТПП является возможность оптимизации технологического маршрута, выбора оборудования и т. д. для обработки конкретной детали.

Рассмотрим постановки оптимизационных задач при ТПП.

Найти материал детали, обеспечивающий минимум ее стоимости при выполнении заданных требований.

Найти форму и метод изготовления заготовки, обеспечивающие минимум потерь материала.

Определить последовательность технологических переходов, обеспечивающую минимальное время изготовления партии деталей.

Выбрать оборудование, обеспечивающее: а) минимальную стоимость при удовлетворении требований техпроцесса; б) минимальные приведенные затраты на выполнение технологического контроля; в) минимальный период окупаемости оборудования.

Оптимизационные задачи также могут быть поставлены при программировании станков с ЧПУ; выборе метода обработки; выборе методов и средств контроля; определении требований техники безопасности и обеспечения устойчивости экологической среды и др.

Кроме отдельных оптимизационных задач, рассмотренных выше, в АСТПП, как правило, решается и обобщенная оптимизационная задача: получение ТП, имеющего минимальные затраты на производство единицы продукции. При решении обобщенной задачи учитываются все отдельные критерии путем их суммирования, обобщения, выбора главного критерия и т.д.

2.5.2. Автоматизация методов ТПП

В любых методах автоматизации ТПП различают функции по вводу и хранению информации и функции по поиску, изменению и выдаче информации. Эти функции взаимосвязаны и непрерывно взаимодействуют в процессе работы.

Автоматизация метода управления ТПП

Характерным для данного метода – наиболее простого и поэтому первого, для которого были разработаны АСТПП, – считаются хранение информации в соответствии с определенной системой классификации и кодирования и выдача этой информации в удобной для пользователя форме. Основой этого служат наличие множества технологических карт на обрабатываемые детали и определение требований по выполнению заказа (рис. 2.1).

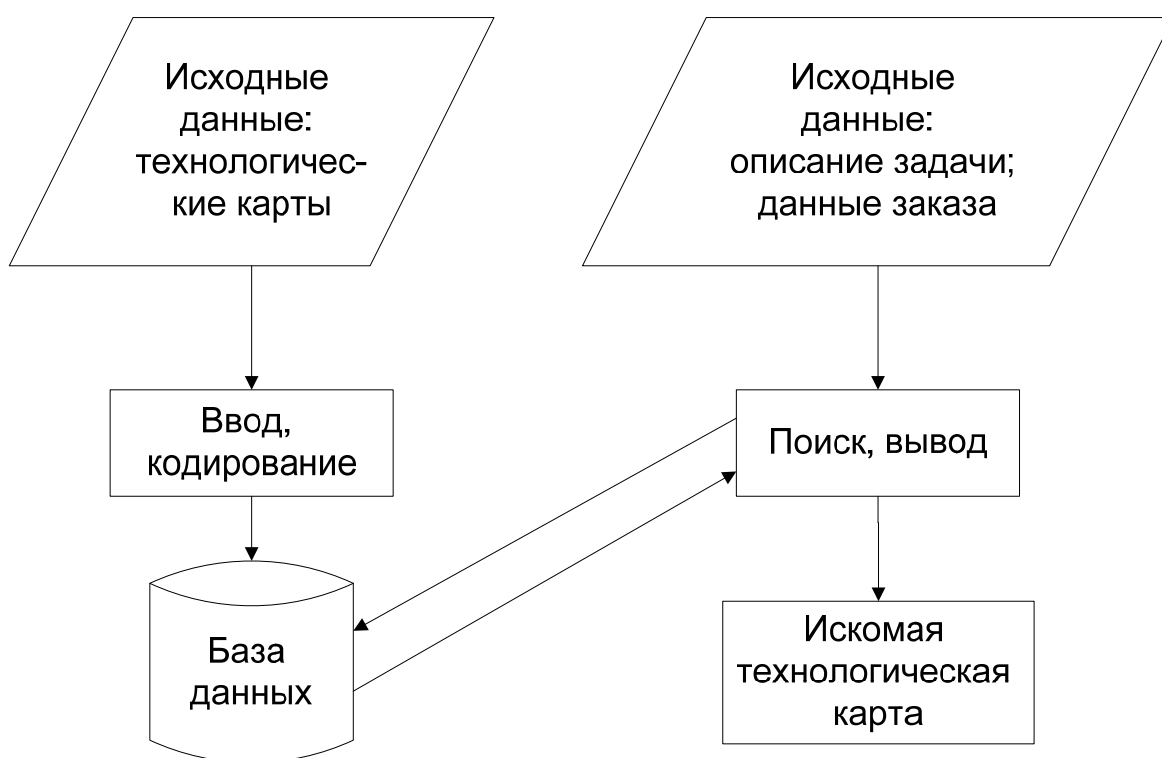


Рис. 2.1. Принципы автоматизированного управления ТПП

Код карты отражает различные аспекты классификации: вид заготовки, методы обработки и т.д. Кроме того, система классификации предназначена для организации доступа информации, цель которой состоит в минимизации затрат на поиск. По виду поиска метод управления использует метод поиска по имени объекта.

Автоматизация метода вариантного планирования

При использовании метода вариантного планирования определенный класс деталей представлен стандартной технологической кар-

той, которая отражает полный технологический процесс для всех вариантов класса деталей. Функциями этого метода ТПП являются ввод и хранение стандартных технологических карт, их поиск, расчет переменных параметров процесса, выдача карт (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Автоматизация метода вариантного планирования

На этапе поиска в базе данных стандартной технологической карты, так же как и в методе управления, используется метод поиска по имени объекта.

Автоматизация метода адаптивного планирования ТПП

Основные функции метода: ввод и хранение технологических карт, поиск карты-аналога, модификация процесса обработки, проведение дополнительных расчетов (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Автоматизация метода адаптивного планирования

Поиск аналога может осуществляться методом поиска по имени объекта; ассоциативным поиском – по известным свойствам объекта (геометрические размеры, форма и т.д.) или смешанным поиском – по имени и известным свойствам.

Автоматизация метода нового планирования ТПП

Автоматизация этого метода наиболее трудоемка, т.к. при его использовании осуществляются проектирование и документирование ТП на основе введенных данных.

По исходным данным (описанию детали и программе выпуска) выбираются заготовка, построение технологического маршрута, оборудование, осуществляются временные расчеты.

Рассмотрим отдельные задачи метода нового планирования.

Выбор вида заготовки и методов ее изготовления.

Виды заготовок: отливки; прокат; поковки; штамповки; сварные заготовки. В качестве критериев оптимизации выбора заготовок используют:

- себестоимость изготовления заготовки C_3 -► min;
- себестоимость механической обработки заготовки для получения детали C_M -► min;
- стоимость отходов металла C_0 -► min.

Алгоритм выбора оптимального метода получения заготовки состоит из следующих шагов:

- выбор возможных видов заготовки по материалу детали. В зависимости от вида материала (сталь, чугун, сплавы и т.д.) выбираются методы получения заготовок - отливки, штамповки, прокат, поковки;
- выбор возможных методов изготовления заготовок исходя из серийности детали (единичная, серийная, крупносерийная, массовая); конструктивной формы детали (цилиндрическая, дисковая, пространственная, корпусная и т.д.); массы и размеров детали;
- определение технических характеристик для выбранных видов заготовок (точность, коэффициент использования материала и др.);
- определение себестоимости изготовления заготовки;
- определение себестоимости механической обработки заготовки;
- определение стоимости отходов материала;
- выбор оптимального метода изготовления заготовки для конкретных условий производства.

Выбор технологических баз

Алгоритм выбора технологических баз заключается в следующем. После ввода конфигурации детали осуществляется автоматический расчет площадей всех поверхностей детали и их ранжирование в порядке убывания. В качестве основной базы пользователю предлагается поверхность с наибольшей площадью. Если пользователя устраивает данный вариант, то осуществляется переход к выбору вспомогательных баз, если нет - пользователю предлагается следующая по размеру площади поверхность.

Выбор вспомогательных баз осуществляется аналогично из поверхностей, оставшихся после выбора основной базы.

Проектирование технологического маршрута

Данная задача - главная и наиболее трудная. В методе нового планирования используют различные диалоговые подсистемы формирования технологического маршрута. Исходная информация о детали:

- общие сведения;
- сведения о заготовке (поступают из подсистемы выбора заготовки);
- описание наружных и внутренних поверхностей;
- допустимые отклонения.

Вся исходная информация кодируется.

База данных подсистемы - наборы последовательностей технологических операций; значения параметров для расчета режимов резания и времени обработки.

В диалоговом режиме осуществляются подбор технологических операций, расчет и оптимизация режимов резания, расчет затрат времени на изготовление детали, расчет какого-либо критерия оптимальности (например себестоимости изготовления детали), оптимизация технологического маршрута по выбранному критерию.

Проектирование технологических операций

Каждая технологическая операция, выбранная на этапе проектирования технологического маршрута, проектируется в виде последовательности переходов. Одну и ту же операцию возможно реализовать различной последовательностью отличающихся переходов. Выбор наилучшего варианта осуществляется по критериям: себестоимость операции; время выполнения операции и другим.

Выбор основного оборудования

Оборудование для выполнения операций выбирается в зависимости от намеченного состава операций, габаритов и конфигурации детали, требуемой точности обработки, программы выпуска деталей.

Состав операции (т.е. перечень поверхностей, обрабатываемых на операции) зависит от возможностей оборудования, и, наоборот, оборудование выбирается в зависимости от состава операции, поэтому эти задачи решаются параллельно.

База данных о станках содержит следующую информацию:

- код оборудования в соответствии с классификатором;
- мощность станка; максимальные размеры сечения резцов, которые можно установить в резцедержателе (для токарного станка);
- максимальное количество инструментов, которые можно одновременно установить на станке; частота вращения и др.

Выбор оборудования обычно оптимизируется по критерию стоимости.

Выбор инструмента

Выбор режущего инструмента осуществляется для каждого технологического перехода. Исходные данные:

- геометрия детали;
- сведения о заготовке;
- технологические характеристики применяемого оборудования.

Инструмент выбирается из справочной базы, охватывающей все его разновидности. Последовательность выбора инструмента следующая:

- по коду технологического перехода определяется код группы инструмента;
- по модели станка выбирается код подгруппы инструмента;
- уточняются размеры и другие характеристики.

2.5.3. Автоматизация технологической подготовки производства при использовании станков с ЧПУ

Автоматизированные системы ТПП включают решение следующих задач, отсутствующих в ТПП обычных производств [11,12]:

- автоматизация геометрических расчетов. Программно осуществляются расчеты, особенно сложные для криволинейных поверхностей и расчетов перемещений по эквидистанте;

- автоматизация программирования. Для простых задач – например, для сверлильных станков с ЧПУ – вводится информация о координатах, диаметрах и глубинах отверстий, после чего программа формируется автоматически. Для более сложных задач программа формируется в диалоге с технологом. Далее осуществляется синтаксический анализ правильности программы – компьютер ищет и указывает ошибки, технолог – исправляет. Следующий этап – кодирование программы в коды требуемого станка и вывод на носитель – осуществляется автоматически;

- графическое моделирование траектории движения инструмента для тестирования программ ЧПУ. Данная задача ТПП станков с ЧПУ может быть решена только с использованием вычислительной техники. Построение траектории движения инструмента и вывод ее на экран дисплея или графопостроителя позволяет провести тестирование программы ЧПУ на этапе ее разработки и значительно снизить время на наладку станка с ЧПУ.

Программные среды, с помощью которых решаются задачи этого этапа, можно объединить в две группы. К первой из них следует отнести программные комплексы, специально разработанные для выполнения всего цикла или отдельных процедур технологической подготовки производства. Среди этой группы программного обеспечения можно выделить: *ADEM*, *ArtCAM*, *EdgeCAM* и некоторые разработки российских фирм: КОМПАС АВТОПРОЕКТ (Аскон) – проектирование технологических процессов механообработки, штамповки, сборки, термообработки; *FLEX* ТехноПро (Топ Системы) – проектирование технологии механообработки, сборки, сварки, пайки, нанесения покрытий, штамповки,ковки, термообработки; СИТЕП МО (Станкин СОФТ) – механообработка, СИТЕП ЛШ – листовая штамповка; *TECHCARD* (Интермех) – комплексная система автоматизации технологической подготовки производства; ТехноПро (Вектор) – универсальная система автоматизации технологического проектирования; *SprutCAM*, СПРУТ-ТП (СПРУТ-Технологии) – система автоматизированного проектирования технологических процессов и др.

Другую группу программного обеспечения составляют программные системы сквозного проектирования и технологической подготовки производства: *CATIA5*, *EUCLID3*, *Unigraphics*, *Pro/ENGINEER*, *CADDS5*.

Контроль качества управляющих программ выполняют специальные программы, например, такие, как *NC Simul*, *NC Formater* и др.

В производстве машиностроительных и части приборостроительных изделий используются технологии, в основе которых лежат различные физические процессы: механообработка, электроэрозионная обработка, литье металлов и пластмасс и др.

В автоматизированных системах сквозного проектирования и подготовки производства наиболее часто реализованы следующие виды механообработки: 2,5-, 3- и 5-координатное фрезерование, токарная обработка, сверление, нарезание резьбы и др. Имеется возможность моделировать движение инструмента и снятие материала во время черновой и чистовой обработки поверхности изделия. Например, в простейшем варианте 2- и 2,5-координатной обработки во многих программных комплексах реализованы следующие способы обработки поверхностей: контурная обработка, фрезерование призм и тел вращения, выборка карманов с возможностью движения «в одну сторону», зигзаг, спираль, а также нарезание резьбы и снятие фасок. В модулях 3- и 5-координатного фрезерования программных систем сквозного проектирования и технологической подготовки производства реализованы практически все возможные способы обработки всех поверхностей изделий, например, такие, как фрезерование поверхности с управлением угла наклона инструмента, шлифующее резание с возможностью обдувки и др.

При выполнении различных видов механообработки используется общая база данных для поддержки связи между геометрической моделью обрабатываемой детали и управляющей программой для станка с ЧПУ, где проходы инструмента создаются по геометрии модели. Изменение геометрии отражается в управляющей программе. Траектория движения инструмента создается интерактивно по поверхности модели изделия, благодаря чему технологи получают возможность визуально наблюдать на экране монитора имитацию процесса удаления стружки, контролировать зарезы и быстро вносить изменения в циклы обработки.

С помощью специальных функций автоматически вычисляется объем, который необходимо удалить из заготовки при обработке изделия.

2.5.4. Прототипирование

В процессе разработки технических изделий широкое применение находят их физические прототипы [11]. Быстрое прототипирование является актуальным как на этапе конструирования, так и в производственном цикле. Наличие прототипа позволяет наглядно оценить результаты геометрического моделирования, проанализировать параметры изделия, провести рекламную кампанию и исследовать рынок, использовать прототип на отдельных этапах изготовления изделия, например при литье по выплавляемым моделям. Для реализации быстрого прототипирования в настоящее время созданы специальные установки с ЧПУ, разработано соответствующее программное обеспечение, подготовлены форматы обмена информацией с сопутствующими автоматизированными системами проектирования и производства.

Прототип можно изготавливать различными способами, например такими, как стереолитография, *LOM*-технология, с помощью термопринтера, ускоренного фрезерования и др. Технологии всех методов прототипирования строятся на непосредственном использовании геометрической модели изделия. Так, для стереолитографии и *LOM*-технологии с помощью специального интерфейса, который полностью интегрирован с системами сквозного проектирования, предварительно создается промежуточный файл в формате *STL*, что позволяет получать доступ ко всем популярным платформам стереолитографических систем (например фирм *3D Systems* или *Stratasys*). При этом сохраняется полная целостность данных. Данные *STL*-файла также могут быть использованы для механической обработки по *LOM*-технологии фирмы *HELISYS*.

При создании прототипов способом ускоренного фрезерования (гравирования) используется геометрическая модель изделия. Структурная схема процессов прототипирования приведена на рис. 2.4.

Стереолитография. В процессе обработки данных *STL*-файла на стереолитографической установке геометрическая модель изделия последовательно представляется набором тонких слоев толщиной 50... 150 мкм. В основе процесса стереолитографии лежит принцип послойного наращивания изделия путем полимеризации жидкого фотополимера под воздействием излучения лазера. Послойное наращивание включает в себя следующие основные этапы (рис. 2.5):

- в соответствии с очертаниями текущего контура изделия луч лазера прорисовывает очередной слой на поверхности жидкого полимера, залитого в ванну установки. Полимер отверждается только там, где прошел лазерный луч;
- платформа с формируемым прототипом погружается в полимер на толщину слоя;
- поверхность ванны снова покрывается тонким слоем жидкого полимера;
- лазер засвечивает следующий слой полимера и т.д.

Процесс повторяется автоматически до полного изготовления прототипа.

На стереолитографической установке прототип может быть получен за несколько часов. Точность моделей 0,1 мм.

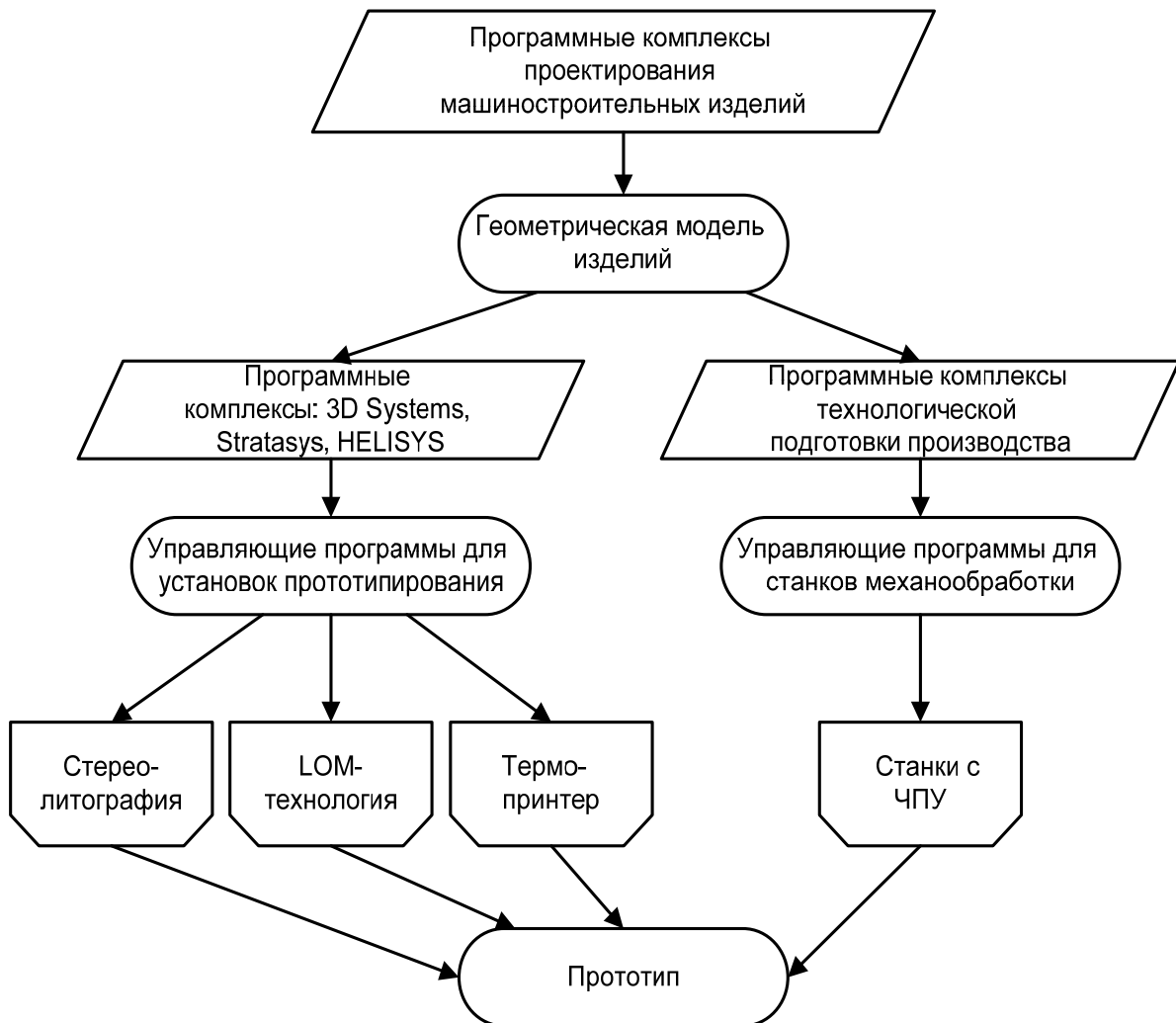


Рис. 2.4. Обобщенная структурная схема прототипирования

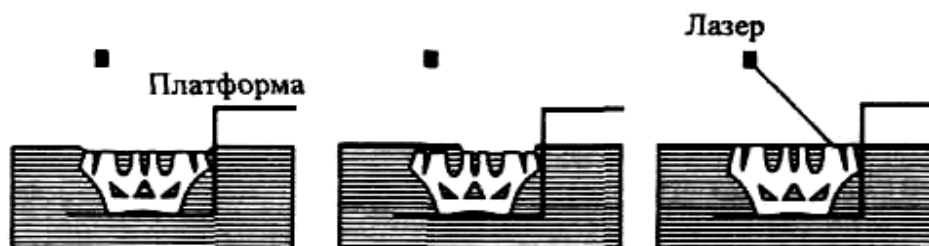


Рис. 2.5. Схема послойного наращивания изделия по технологии стереолитографии

LOM-технология. После загрузки *STL*-файла в *LOM*-систему с помощью специального программного обеспечения этой системы геометрическая модель изделия разделяется на множество слоев по оси *Z*. Установка начинает процесс наращивания изделия, подавая слой бумаги и скрепляя его с предыдущим слоем. Затем лазер вырезает контур этого слоя и размечает излишки материала. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут построены и скреплены все слои. После этого можно удалить излишки бумаги и получить готовый бумажный прототип (рис. 2.6).

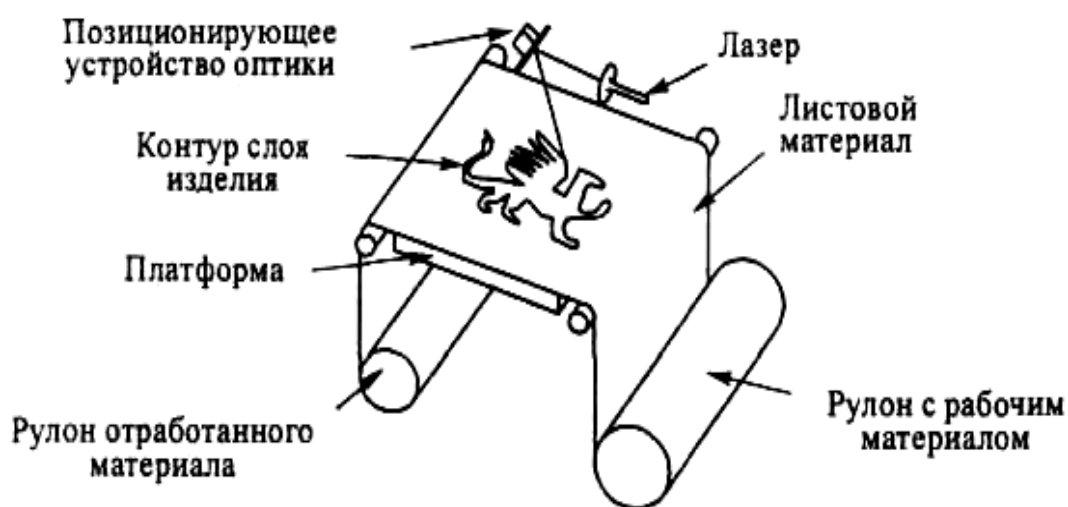


Рис. 2.6. Схема послойного синтеза наращивания изделия по *LOM*-технологии

Формообразование трехмерного прототипа с помощью термопринтера. Принцип действия термопринтера напоминает струйный принтер, но в качестве рабочей смеси используются термополимерные материалы. Трехмерный твердотельный прототип строится последовательным наращиванием изделия в соответствии с моделью.

Головка принтера содержит 352 сопла, что позволяет обеспечить очень высокое качество поверхности (300 пикселей на дюйм).

Ускоренное фрезерование прототипа из мягких материалов. Для создания прототипов способом ускоренного фрезерования (гравирования) используются сравнительно недорогие мягкие материалы типа пластмасс, твердого пенопласта, дерева и т.п. Применение этих материалов позволяет существенно сократить время фрезерования при изготовлении прототипа. В качестве базовой модели используется компьютерная модель изделия, которая передается в подсистему технологической подготовки производства. С помощью этой подсистемы выбираются из базы данных или проектируются инструменты, назначается станок, разрабатывается технология изготовления. Затем автоматически создается программа для выбранного станка с ЧПУ и выполняется контроль спроектированного процесса механообработки.

2.5.5. Пример проектирования технологии фрезерной обработки

Приведем некоторые основные понятия, используемые в проектировании технологических процессов.

Удаляемый материал – материал, удаляемый из заготовки детали в каком-либо цикле ее обработки.

Система базирования элементов оборудования. Одним из важных понятий в проектировании технологий считается понятие системы базирования элементов оборудования. Системы базирования отвечают за взаимное расположение всех элементов оборудования: станка, инструмента, инструментальной оснастки, технологической оснастки (приспособления) и детали в процессе обработки. Система базирования элемента создается путем определения положений начала координат и направления осей X , Y , Z . При этом на экране монитора указываются только оси Z и X . Ось Y не отображается, так как ее положение можно вычислить по правилу правой руки. В процессе описания того или иного элемента оборудования технолог самостоятельно определяет положение системы базирования. Назначение ее для того или иного элемента оборудования будем называть определением данного элемента. На всех приведенных далее рисунках в системах базирования ось Z будет изображаться сплошной линией, ось X - пунктирной.

Среда обработки. В подсистеме проектирования процессов механообработки предварительно создается так называемая среда обработки. Элементами этой среды являются:

- описание имеющихся на предприятии фрезерных станков с ЧПУ;
- геометрически точные модели используемых инструментов;
- геометрически точные модели элементов установки инструмента (конусов, державок) в шпинделе станка;
- модели элементов установки заготовки детали на столе фрезерного станка;
- модель заготовки;
- модель конечной детали.

В среду обработки следует ввести сведения о материале, из которого будет изготавливаться конечная деталь. Система предоставляет выбор материала детали из списка возможных материалов.

Базу данных технологического оборудования, имеющегося на предприятии, необходимо создать до начала работы с подсистемой технологической подготовки производства. Создание макетов станков, моделей приспособлений и инструмента ведется методами твердотельного или поверхностного моделирования. При разработке моделей оборудования и инструмента следует учитывать, что геометрическое моделирование позволяет повысить качество контроля управляющих программ.

Однако для проектирования процессов механообработки подробная геометрически точная модель всего станка не нужна. Достаточно определить кинематическую схему станка. Поэтому далее используется понятие «макет станка», содержание которого определяется при описании оборудования конкретного способа механообработки. На этапе макетирования некоторых видов оснастки можно использовать условное, или «виртуальное» приспособление. Этот прием позволяет получить предварительный вариант управляющей программы, выполнить контроль зарезов детали и столкновений элементов станка, в результате которого можно определить оптимальную установку заготовки детали, подобрать инструмент, а затем спроектировать нужное приспособление. После получения окончательного варианта управляющей программы с реальными элементами оснастки и инструментом у технолога появляется возможность

проконтролировать работу этой программы с имитацией всех реальных условий процесса обработки.

Макеты станков, приспособлений и инструмента также могут использоваться для анимации процесса фрезерования и удаления материала во время обработки.

Описание станка в базе данных содержит следующую информацию [11]:

- название станка;
- описание архитектуры;
- технологические параметры станка;
- геометрические параметры;
- описание кинематической схемы.

Архитектура станка. Описание архитектуры станка определяет возможные движения элементов станка в процессе его работы. В архитектуре указывается, какие элементы станка двигаются вдоль или вокруг определенных осей и как они связаны друг с другом. Архитектура станка определяется выражением типа «Оси заготовки/Оси инструмента», где «Оси заготовки» представляют оси координат станка, по которым движется обрабатываемая заготовка относительно станины станка, а «Оси инструмента» – оси координат станка, по которым движется инструмент относительно станины станка.

Для описания архитектуры станка нужно определить оси линейных перемещений элементов станка относительно его станины: X , Y , Z . Дополнительные оси A , B и C описывают вращения подвижных элементов станка (стол или шпиндельная головка), вокруг осей X , Y и Z соответственно. Оси A , B и C обычно записываются в начале и в конце символического описания архитектуры станка. Например, запись CXY/ZB идентифицирует 5-координатный станок, поворотный стол которого может вращаться вокруг оси Z и перемещаться вдоль осей X и Y , а инструмент перемещается вдоль оси Z и вращается вокруг оси Y .

Выбор станка можно выполнить одним из следующих способов:

- вызвать из базы данных оригинальный, созданный ранее станок;
- выбрать тип станка по образцу.

База данных содержит наиболее широко используемые станки со следующей архитектурой:

XY/Z_V , X/YZ_H , BX/YZ_H , CBX/YZ_V , $X/YZCA_V$, CYX/ZB_V .

Выбранный по образцу станок создается «фиктивно»: без связанного геометрического представления и ограничений. Он также имеет технологические параметры по умолчанию.

Технологические параметры – это максимальные обороты шпинделя, максимальные скорости подачи, наличие охлаждения и т.д.

Геометрические параметры станка. Геометрические параметры используются для условного или реалистичного представления станка.

Кинематическая схема станка. Кинематическая схема определяет связь обрабатываемой заготовки детали с элементами технологической оснастки, станком, элементами инструментальной оснастки и инструментом. Кинематическая схема является результатом нескольких операций определения:

- станка;
- элементов инструментальной оснастки;
- инструмента;
- заготовки детали;
- элементов технологической оснастки.

Определение станка заключается в назначении системы базирования шпинделя СБ1 и системы базирования положения технологической оснастки на его столе СБ2 (рис. 2.7).

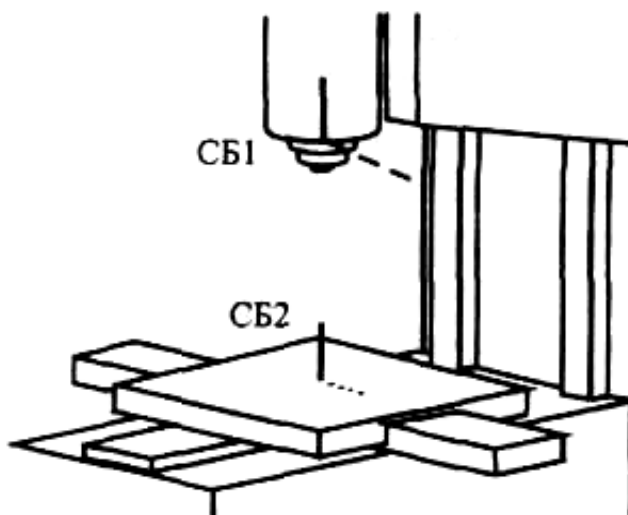


Рис. 2.7. Определение станка

Определение элементов инструментальной оснастки состоит в указании систем базирования шпинделя и инструмента. Инструментальная оснастка может быть простой, т.е. состоять из одного элемента

(например из конуса), и комбинированной, состоящей из нескольких элементов (например из переходника и конуса). В последнем случае каждому элементу оснастки определяется по две системы базирования.

На рис. 2.8 в качестве примера показаны системы базирования элементов комбинированной инструментальной оснастки: конуса (СБ3 и СБ4) и переходника (СБ5 и СБ6).

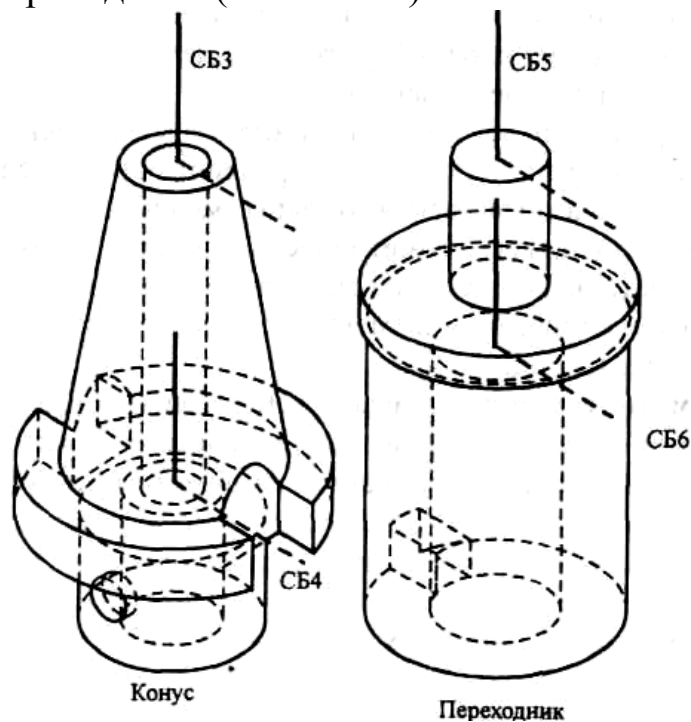


Рис. 2.8. Определение элементов инструментальной оснастки

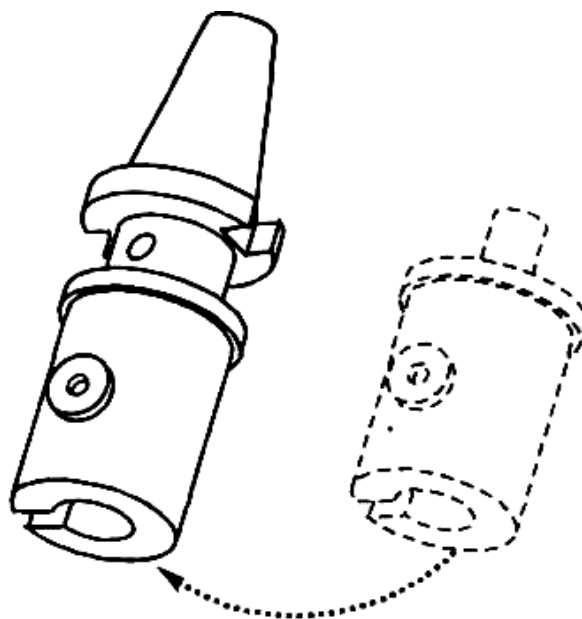


Рис. 2.9. Сборка элементов инструментальной оснастки

СБ3 – система базирования шпинделя, которая будет совмещаться с СБ1, СБ4 – система базирования переходника, СБ5 – система базирования конуса, СБ6 – это система базирования инструмента, которая в дальнейшем будет совмещаться с системой базирования державки инструмента. При сборке этих элементов переходник присоединяется к конусу так, что СБ4 совпадает с СБ5 (рис. 2.9).

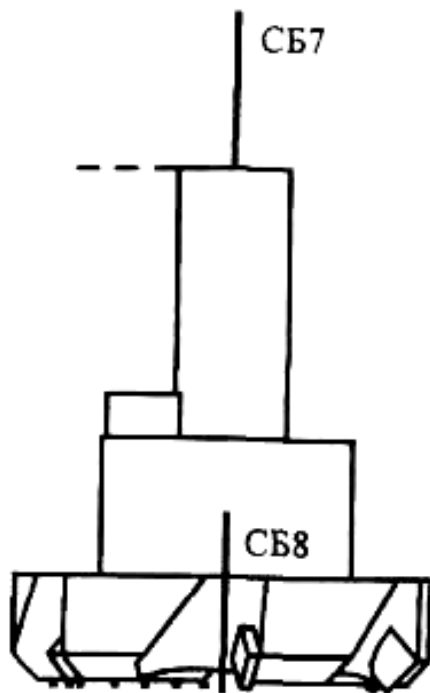


Рис. 2.10. Определение инструмента

Определение инструмента является продолжением описания кинематической схемы фрезерного станка и содержит следующую информацию:

- геометрическое описание, условное или реалистичное представление инструмента, являющееся моделью реального инструмента;
- система базирования державки (конуса), которая фиксирует инструмент в шпинделе;
- система базирования фрезы, которая определяет положение инструмента относительно обрабатываемой детали;
- параметры инструмента, соответствующие типу инструмента.

При создании процесса обработки можно установить инструмент непосредственно в шпиндель станка либо предварительно создать сборку инструмента с одним или более элементом инструментальной оснастки и затем установить эту сборку в шпиндель станка.

При определении инструмента необходимо выбрать систему базирования державки инструмента СБ7 и систему базирования фрезы СБ8 (рис. 2.10).

База данных инструментов содержит следующие типы инструмента: метчик, развертку, сверло, центровочное сверло, коническую фрезу, коническую зенковку, цилиндрическую зенковку, торцевую фрезу, концевую фрезу, концевую обдирочную фрезу, инструмент для гравировки, резцы, нестандартный и фасонный инструмент.

Для каждого типа инструмента определяются его параметры. Например, метчик будет описан следующими параметрами: диаметр-

ром метчика, шагом резьбы, длиной режущей части, его полной длиной и геометрической моделью метчика. Концевая фреза описывается такими параметрами: диаметром фрезы, длиной режущих поверхностей по оси фрезы, глубиной резания, радиусом торца фрезы, максимальной глубиной обработки, полной длиной фрезы, количеством зубьев и геометрической моделью фрезы.

Для автоматического расчета режимов резания в процессе обработки учитываются свойства материала и параметры инструмента. В системе есть возможность создавать цепочки ассоциированных объектов «инструмент (тип и параметры) – материал – режим обработки». Можно выбрать другой материал и связать другой набор параметров с тем же типом инструмента. Инструмент с заданным режимом и заданным материалом как ассоциированный объект сохраняется в базе данных.

Формировать цепочки ассоциированных объектов «инструмент – материал – режим обработки» необходимо следующим образом:

- выбрать созданный ранее инструмент;
- выбрать обрабатываемый материал: графит, латунь, золото, серебро, воск, пластик, дерево, алюминий, литой чугун, сталь и др.;
- ввести параметры режима резания:
 - единицы, в которых выражается скорость резания: число оборотов в минуту, единицы длины в минуту;
 - скорость резания;
 - направление вращения шпинделя (по ходу или против хода часовой стрелки);
 - единицы, в которых выражается скорость подвода: единицы в минуту, единицы на оборот инструмента, единицы на режущую кромку, ускоренная подача;
 - скорость, с которой инструмент подводится к обрабатываемой заготовке;
 - единицы, в которых выражается скорость подачи: единицы в минуту, единицы на оборот инструмента, единицы на режущую кромку, скорость рабочей подачи;
 - единицы, в которых выражается скорость отвода инструмента: единицы в минуту, единицы на оборот инструмента, единицы на режущую кромку, ускоренная подача;
 - скорость отвода инструмента;
 - перекрытие проходов, которое выражается в процентах от диаметра инструмента;

- глубина резания;
- сохранение цепочки ассоциированных объектов «инструмент – материал – режим обработки» в базе данных.

База данных инструментов содержит огромное количество данных, последовательный просмотр которых может занять много времени. В системе есть возможность ограничить объем предъявляемых данных путем ввода определенных признаков. Для инструментов такими признаками могут быть тип инструмента, материал заготовки и параметры инструмента.

Определение заготовки детали содержит выбор системы базирования заготовки детали, которая позволяет однозначно зафиксировать заготовку относительно технологического приспособления. Система базирования заготовки (СБ13) показана на рис. 2.11.

Определение элементов технологической оснастки заключается в назначении каждому элементу технологической оснастки его систем базирования. Элементы установки детали (крепежного приспособления) позволяют зафиксировать заготовку на столе станка. С каждым элементом установки детали связаны две системы базирования: стола, которая определяет положение приспособления на столе, и заготовки детали, которая указывает положение заготовки относительно приспособления. Определение всех элементов технологической оснастки на станке дает возможность точно проконтролировать столкновения при имитации процесса фрезерования.

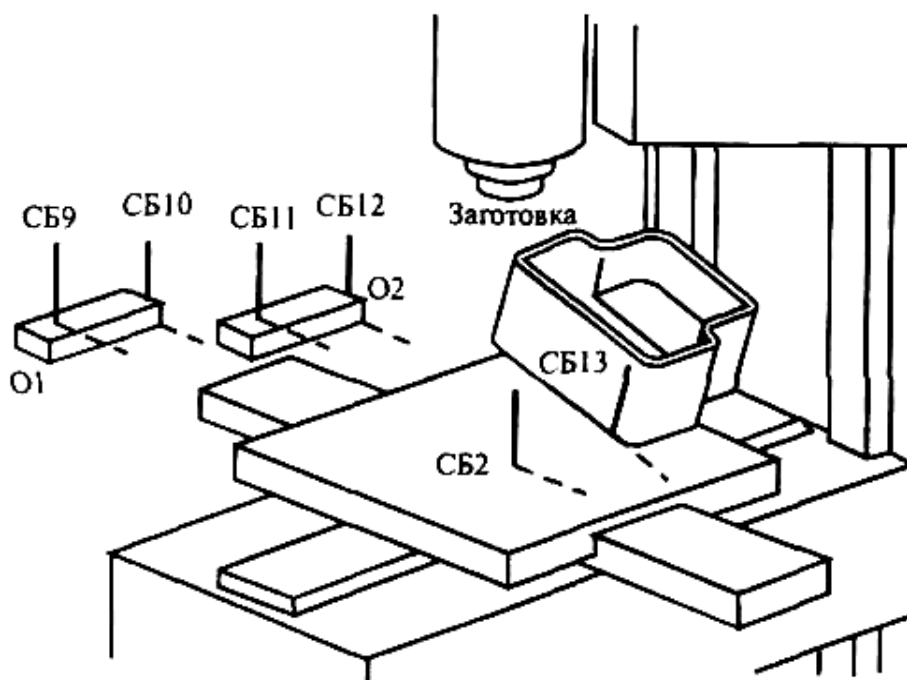


Рис. 2.11. Определение элементов технологической оснастки и заготовки

Можно использовать более одного элемента крепежного приспособления. На рис. 2.11 условно изображены два элемента технологической оснастки:

- элемент 01 и его системы базирования:
 - СБ9 – система базирования заготовки;
 - СБ10 – система базирования элемента 02;
- элемент 02 и его системы базирования:
 - СБ11 – система базирования элемента 01,
 - СБ12 – система базирования стола.

Определение всех составляющих кинематической схемы позволит системе технологического проектирования собрать воедино все составляющие оборудования в момент создания процесса, а именно:

- монтировать инструмент с элементами инструментальной оснастки;
- автоматически закрепить элементы инструментальной оснастки в шпинделе станка;
- автоматически установить технологическую оснастку (СБ 10 + СБ11);
- автоматически установить заготовку в технологическую оснастку (СБ9 + СБ13);
- автоматически установить технологическую оснастку в исходную позицию обработки заготовки (СБ12 + СБ2).

Кинематическая схема оборудования (все ее системы базирования) образуют кинематическую цепочку процесса обработки.

Циклы фрезерной обработки

Для определения цикла обработки в операции система автоматически предлагает перечень циклов, соответствующих типу установленного инструмента.

Существуют следующие циклы 2,5-, 3- и 5-координатной обработки: обработка отверстий; каналов; обработка в одном и двух направлениях; зигзагом по контуру; обработка призмы; обработка поверхностей вращения; карманов, пазов и поверхности по спирали; сверление; сверление с периодическим отводом сверла или с выводом сверла и удалением стружки; зенкование и цекование глухих отверстий с отводом инструмента; нарезание резьбы метчиком; снятие фаски на отверстиях; обработка отверстий «от точки к точке»; битан-

генциальная обработка сопряжений; интерполяция между двумя линиями; обработка по параллельным плоскостям; по сечениям горизонтальными или вертикальными плоскостями; черновая и чистовая обработка.

Каждый станочный цикл определяет траекторию заданного инструмента, являющуюся траекторией его режущей кромки. Некоторые станочные циклы могут быть выполнены только на определенных станках. Например, фрезерование неплоской поверхности совмещением оси фрезы с нормалью к этой поверхности не может выполняться на 3-координатном станке. Некоторые станки имеют дополнительные технические характеристики, такие как охлаждение режущего инструмента. Система способна учитывать эти различия в каждом отдельном цикле. Список технических характеристик данного оборудования записан в используемом контроллере.

Станок с ЧПУ оборудован контроллером (стойкой), который управляет различными функциями станка (перемещением инструмента и детали, охлаждением и т.п.). В подсистеме контроллер представляет собой набор функциональных возможностей данного станка. Контроллер распознает только инструкции, заданные на его языке. Поэтому каждый раз, когда создается файл машинных кодов, подсистема переводит каждую последовательность процесса обработки на язык выбранного контроллера.

Контроль качества спроектированных процессов всех видов механообработки выполняется одними и теми же методами. На всех этапах проектирования технологического процесса технолог имеет возможность визуально проверить настройку оборудования, а во время имитации процесса резания – увидеть формирование эквидистант инструмента. С помощью специальных программ выполняется анимация всего процесса обработки изделия с визуализацией удаляемого материала и зарезов.

В тех случаях, когда технолог не удовлетворен результатами спроектированного процесса, он может выполнить редактирование как параметров циклов, так и любых других составляющих процесса.

Внесенные изменения начинают действовать после пересчета элементов процесса. Выходная информация процесса может быть представлена в виде:

- управляющей программы на проблемно-ориентированном языке;
- управляющей программы в коде конкретного станка с ЧПУ;

- проектно-технологической документации в требуемом формате.

Проектно-технологическая документация может быть оформлена в виде чертежей, текстовой информации или рисунков. Документы создаются автоматически по указанному шаблону и могут при необходимости редактироваться вручную. Существуют следующие типы документов: список инструментов, карты цикла, инструмента, карты последовательности.

Глава 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

3.1. Основные понятия и классификация АСУТП

Технико-экономическими предпосылками развития АСУТП являются:

- рост масштабов производства;
- увеличение единичной мощности оборудования;
- усложнение производственных процессов;
- использование форсированных режимов (повышенные давления, температуры, скорости реакций);
- появление установок и целых производств, функционирующих в критических режимах;
- усиление и усложнение связей между отдельными звеньями технологического процесса;
- нехватка трудовых ресурсов;
- необходимость реализации значительных потенциальных производственных резервов;
- решение задач оптимального управления технологическими процессами, эффективность производственного процесса зависит от качества управления технологией и организации производства;
- возросшие требования к повышению качества технологического процесса;
- замена устаревших систем управления вследствие невозможности реализации на существующем оборудовании современных требований к автоматизации.

Производство любого продукта обеспечивается технологическим процессом.

Технологический процесс – это алгоритмическая последовательность преобразования во времени и/или пространстве входных параметров (сырья) в выходные, результатом которого является продукт.

Исходные параметры, порождаемые на технологическом уровне производства, разделяются на следующие типы:

- ресурсные параметры производств, включая реальное использование ресурсов, полуфабрикатов применительно к каждой установке и т.д.;
- параметры технологического оборудования, позволяющие диагностировать текущее состояние установок и на основе этих данных и нормативных документов по проведению планово-предупредительных ремонтов прогнозировать ремонтные работы;
- технологические параметры, тесно связанные с качеством и количеством потребляемых ресурсов.

Для обеспечения качества технологического процесса и изделия, создаваемого в нем, необходима информация о показателях состояния этого процесса и/или изделия.

При этом для производства любого продукта может быть использовано бесконечное количество видов (типов) технологических процессов (ТП) и для реализации одного и того же ТП может быть использовано бесконечное количество технических и организационных решений.

Выбор оптимальной структуры технических решений контроля и управления технологическим процессом необходим для экономической эффективности работы предприятия.

Любой технологический процесс должен управляться и контролироваться.

Цель управления – получение (производство) продукции с наименьшей себестоимостью и с требуемым качеством.

Цель контроля – это сбор информации о состоянии технологического процесса и участвующих в нем потоков, ее анализ на соответствие состояния объекта определенным требованиям. На основе данного анализа наблюдатель принимает решение об управлении, формирует необходимые воздействия на технологический процесс с целью достижения заданного качества процесса и создаваемого в нем изделия.

Для выполнения целей контроля и управления применяется автоматизированная система управления технологическим процессом – АСУТП [1, 3].

Уровни АСУТП

Типовая АСУТП строится по иерархическому принципу и имеет многоуровневую структуру:

- нижний уровень – уровень датчиков и исполнительных механизмов, осуществляет функцию взаимодействия АСУТП с технологическим процессом (преобразования различных типов физических величин в стандартные электрические и информационные сигналы);
- средний уровень – уровень управляющих контроллеров и сетевых средств, осуществляет функции посредника (буфер) между нижним и верхним уровнями, а также замыкает в себе контуры автоматического (локального) управления;
- верхний уровень – уровень промышленного сервера, операторских и диспетчерских станций, осуществляет функцию автоматического управления распределёнными средствами среднего уровня и функцию взаимодействия АСУТП с человеком.

Следующим уровнем управления – это уровень управления производством и планирования ресурсов предприятия, который связывает между собой все рабочие станции функциональных служб предприятия и верхних уровней (SCADA) различных АСУТП по корпоративной сети предприятия.

Функция АСУТП – это совокупность действий системы, направленных на достижение частной цели управления. При этом в качестве действий рассматриваются заранее predeterminedенные и описанные в эксплуатационной документации последовательности операций и процедур, выполняемые частями системы. В большинстве случаев под термином «функция АСУТП» понимают такую законченную совокупность действий, выполняемых системой, которая проявляется вне ее и поэтому имеет определенную потребительскую ценность.

Принято различать информационные и управляющие функции АСУТП.

К информационным относятся такие функции АСУТП, результатом выполнения которых являются представление оператору сис-

темы или какому-либо внешнему получателю информации о ходе управляемого процесса.

Характерными примерами информационных функций АСУТП являются:

- контроль за основными параметрами, т.е. непрерывная проверка соответствия параметров процесса допустимым значениям и немедленное информирование персонала при возникновении несоответствий;
- измерение или регистрация по вызову оператора тех параметров процесса, которые его интересуют в ходе управления объектом;
- информирование оператора (по его запросу) о производственной ситуации на том или ином участке объекта управления в данный момент;
- фиксация времени отклонения некоторых параметров процесса за допустимые пределы;
- вычисление по вызову оператора некоторых комплексных показателей, не поддающихся непосредственному измерению и характеризующих качество продукции или другие важные показатели технологического процесса;
- вычисление достигнутых технико-экономических показателей работы технологического объекта;
- периодическая регистрация измеряемых параметров и вычисляемых показателей (по вызову, периодическая, по отклонению, действий оператора, аварийных и предаварийных ситуаций, выполнения системой функций защит);
- обнаружение и сигнализация наступления опасных (предаварийных, аварийных) ситуаций;
- экспертная система анализа и выдача рекомендаций действий оператору.

Управляющие функции АСУТП включают в себя действия по выработке и реализации управляющих воздействий на объект управления. Здесь под выработкой понимается определение (на основании полученной информации) рациональных воздействий, а под реализацией – действия, обеспечивающие осуществление принятых после выработки решений.

К основным управляющим функциям относятся:

- стабилизация параметров технологического процесса на некоторых постоянных значениях, определяемых регламентом производства;
- программное изменение режима процесса по заданным законам;
- защита оборудования от аварий;
- формирование и реализация управляющих воздействий, обеспечивающих достижение или соблюдение режима, оптимального по технологическому или технико-экономическому критерию;
- распределение материальных потоков и нагрузок между технологическими агрегатами;
- управление пусками и остановами агрегатов и др.

3.2. Описание уровней АСУТП

3.2.1. Нижний уровень АСУТП

Данный уровень состоит из датчиков и исполнительных механизмов, устанавливаемых на технологических объектах. Нижний уровень включает в себя компоненты, предоставляющие информацию о состоянии технологического процесса на верхние уровни автоматизации (датчики), и компоненты, воздействующие на объект управления (исполнительные устройства – ИУ).

Данный уровень - это основа автоматизации, он изначально присутствует в любой системе автоматизации на предприятии и устаревает вместе с технологическим процессом.

На нем зарождаются информационные потоки: показатели выпуска продукции, расхода сырья, энергии, воды и пр.

К устройствам нижнего уровня автоматизации относятся:

- датчики и конструкции для их размещения;
- датчики физических величин (технологические датчики, счетчики, анализаторы, контрольно-измерительные приборы и др.);
- датчики состояния технологического оборудования (средства контроля состояния электроприводов, датчики положения запорной аппаратуры и др.);
- датчики технико-экономических показателей (электросчетчики, тепло- и водосчетчики и т.п.);
- исполнительные устройства и силовые распределительные

шкафы для их запитки и управления;

- регулирующая и запорная аппаратура;
- пусковая аппаратура электроприводов и т.д.;
- блоки питания датчиков, приборов и устройств и гальванические разделители.

Нижний уровень – наиболее массовая и дорогая часть системы автоматизации.

Под датчиком в общем случае понимается преобразователь физической величины в стандартный электрический сигнал. Его конструкция и исполнение позволяют устойчиво и безопасно функционировать при самых неблагоприятных погодных условиях, а также во взрывоопасных зонах.

Датчик (измерительный преобразователь) – это техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Датчики, используемые в АСУТП, должны иметь сертификат применения его как средства измерения.

Классификация датчиков по типу измеряемого технологического параметра:

- энергетические датчики: мощности, переменного/постоянного напряжения, переменного/постоянного тока, частоты, фазы;
- физические датчики: вязкости, давления, расхода, температуры, уровня, плотности;
- механические: положения, перемещения, угла поворота (индуктивного и емкостного типа, ультразвуковые).

Классификация датчиков по типу связи с вышестоящим уровнем в системе автоматизации

Аналоговые – информация передается изменением непрерывного аналогового сигнала, по его типу они подразделяются на датчики:

- тока, мА (0-5; 4-20; 1-5);
- напряжения, В (0-5; 0-10);
- частоты, Гц (0-10000);
- счетно-импульсные;
- широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Цифровые – информация передается по некоторому цифровому протоколу, перечислим наиболее распространенные:

- сеть Microlan – определяет спецификацию протокола и физической среды передачи данных;
- в стандарте Bell 202 (протокол HART);
- AS-интерфейс;
- протокол Modbus, в основном связь по шинному интерфейсу RS-485;
- полевые шины: FOUNDATION Fieldbus, Profibus.

В настоящее время аналоговые системы автоматизации технологического управления заменяются цифровыми, что обусловлено более высокой точностью и лучшими техническими характеристиками последних. Традиционно передача данных осуществляется с использованием стандартных сигналов типа токовой петли 4-20мА. После обработки измеренной физической величины цифровой сигнал преобразуется в аналоговый 4-20мА и передается в систему сбора данных. Между системой и аналоговым датчиком существует односторонняя связь: "от датчика к системе", что является недостаточным, так как для настройки и обслуживания датчика необходимо непосредственное взаимодействие оператора и датчика. Когда датчики расположены в труднодоступных местах и на больших расстояниях друг от друга, то данное взаимодействие затруднено.

Решением данной проблемы будет использование "интеллектуальных" датчиков с двухсторонним цифровым каналом связи между датчиком и системой.

Поэтому практически любая современная АСУТП использует для сбора данных "интеллектуальные" датчики. Термин "интеллектуальный" связан прежде всего с наличием внутри датчика микропроцессора. На микропроцессор возлагаются функции первичной обработки сигнала с сенсора, например линеаризация, изменение величины демпфирования, переустановка диапазона измерения и т.д. Микропроцессорные датчики имеют улучшенные метрологические характеристики по сравнению с традиционными аналоговыми датчиками за счет глубокой первичной математической обработки измерительного сигнала.

Интеллектуальный датчик позволяет производить настройку на другой диапазон измерений или полуавтоматическую калибровку, а

также осуществлять функции внутренней самодиагностики, что упрощает техническое обслуживание. Интеллектуальные датчики связываются с системой АСУТП при помощи цифрового коммуникационного протокола, который позволит осуществлять передачу важной управляющей и иной служебной информации в обоих направлениях между полевыми устройствами и системами управления. Цифровая связь позволяет объединять датчики в общую шину, что позволяет существенно сократить стоимость кабельной проводки.

Использование микропроцессорных датчиков в АСУТП значительно снижает вычислительную нагрузку на главный контроллер, тем самым повышая быстродействие всей системы в целом. К примеру, интеллектуальный датчик позволяет составлять одно или несколько измерений в одно новое измерение.

В мире существует множество конкурирующих коммуникационных протоколов. Каждая фирма-производитель стремится продвинуть на рынок свой протокол, сделать так, чтобы как можно больше компаний выпускало оборудование, поддерживающее данную коммуникационную технологию. Для этого организуются некоммерческие фонды, продвигающие тот или иной протокол. Вот наиболее распространенные коммуникационные технологии: FOUNDATION Fieldbus и HART в Америке, Profibus, Modbus и HART в Европе.

В идеале уровень датчиков и исполнительных механизмов должен напрямую связываться с системами диспетчерского управления верхнего уровня. В этом случае минимум посредников приводит к минимуму искажений передачи информации. Так, «идеальным» датчиком представляется устройство, преобразующее физический параметр технологического процесса в информационный параметр единой базы данных предприятия (отрасли). В настоящее время уже используются датчики, передающие информацию непосредственно в системы диспетчерского управления через спутник или по корпоративным сетям (Web-технологии).

Но сегодняшняя стоимость технологий не позволяет устанавливать данное оборудование на каждый технологический параметр. Для удешевления доставки информации с сохранением требований реального времени между датчиками и верхним уровнем вводится посредник – контроллер – устройство, призванное удешевить стоимость системы путем мультиплексирования простых датчиков для выхода на прямую связь с системами верхнего уровня.

3.2.2. Средний уровень АСУТП

Основным назначением данного уровня является функция посредника между верхним, диспетчерским, уровнем и нижним уровнем исполняющей и контролирующей аппаратуры с функцией выполнения алгоритмов местного (локального) управления и предоставление функций диспетчерского контроля и управления непосредственно на месте эксплуатации.

Здесь находятся контроллеры, управляющие через нижний уровень системы технологическими процессами в реальном времени, объединенные между собой промышленной сетью и поддерживающие обмен с верхним уровнем системы.

Контроллер – устройство, предназначенное для получения в реальном времени информации с датчиков, преобразования ее и обмена с другими компонентами системы автоматизации (компьютер оператора, монитор, база данных и т.д.), а также для управления исполнительными механизмами.

Контроллеры реализованы на базе микропроцессорной техники и работают в локальных и распределенных системах управления в реальном времени в соответствии с заданной программой.

В основные задачи контроллера входят:

- измерение, опрос и управление оборудованием;
- первичное преобразование результатов измерения;
- регистрация событий;
- ведение среднeminутных, часовых и др. архивов;
- поддержка высокоуровневого протокола связи с центральным пунктом, обеспечивающего быструю и гарантированную доставку информации;
- автономная и бесперебойная работа с защитой данных;
- диагностика технических средств и защита технологического оборудования от последствий отказов;
- организация замкнутых, локальных контуров управления для обеспечения надежности и уменьшения времени реакции системы на критичных участках: защиты, регулирования, логического управления и пр.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) универсальны и возможность их применения в конкретной АСУТП определяется заложенной программно-аппаратной гибкостью, производительностью и объемом памяти.

Выбор конкретного ПЛК является многофакторной задачей и определяется как требованиями технологического процесса, так и стоимостью аппаратных, программных средств, наличием средств разработки и отладки, поддержкой сетевого взаимодействия.

Структура оборудования среднего уровня АСУТП должна быть адекватна структуре объекта автоматизации, то есть, с одной стороны, оборудование среднего уровня должно располагаться в непосредственной близости к оборудованию нижнего уровня, чтобы минимизировать затраты на прокладку кабелей и снизить влияние помех, а с другой – в структуре среднего уровня должны быть ясно выделены функциональные узлы объекта автоматизации, для которых необходима реализация локальных контуров управления.

К примеру, для АСУТП распределенных производств средний уровень представлен автономным контроллером, реализующим функции контроля и управления небольшим изолированным технологическим узлом.

К контроллерам для распределенных АСУТП предъявляются более высокие требования по типам поддерживаемых интерфейсов.

Выделяют три класса интерфейсов:

- нисходящие – для соединения с интеллектуальными устройствами нижнего уровня;
- горизонтальные, связывающие отдельные устройства через сеть с другими средствами автоматизации среднего уровня;
- восходящие – для связи с верхним уровнем системы и подключения местных панелей оператора и пультов управления.

3.2.3. Верхний уровень АСУТП

Это уровень промышленного сервера и сети автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов, диспетчеров, установленных в различных помещениях и зданиях.

АРМ реализованы на базе комплексов диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы).

SCADA-системы представляют собой специализированное программное обеспечение, ориентированное на визуализацию технологических процессов и коммуникацию с внешним миром.

Данные системы построены по модульному принципу и предусматривают возможность поддержки распределенных или централизованных систем контроля и управления.

Основу большинства SCADA-пакетов составляют несколько программных компонентов (база данных реального времени, ввода-вывода, предыстории, аварийных ситуаций) и администраторов (доступа, управления, сообщений).

Современные системы SCADA хорошо структурированы и представляют собой готовые к применению и согласованные по функциям и по всем интерфейсам наборы программных продуктов и вспомогательных компонентов. В сетевых системах средствами SCADA реализуются станции разного функционального назначения, взаимодействующие между собой в системах управления технологическими процессами. Они и включают в свою номенклатуру разные типы станций: станции-серверы и станции-клиенты, взаимодействующие в структуре "клиент-сервер"; станции наблюдения (мониторинга) для руководящих работников; специальные станции сбора архивных данных и документирования данных и событий и др.

С ростом мощности компьютеров и соответствующим ростом информационной мощности операторских станций соответственно потребностям приложений SCADA-системы становятся масштабируемыми, они выпускаются в вариантах, которые при сохранении в целом функционального профиля поддерживают от нескольких десятков или сотен до десятков тысяч входов-выходов.

На уровне управления производством для диспетчерского управления (Manufacturing Executing System - MES) вполне применимы SCADA-системы для АСУТП. Сбор, отображение, архивирование данных и протоколирование хода производства средствами систем SCADA успешно применяются в диспетчерских пунктах предприятий. Однако особенности функций диспетчерского управления привели разработчиков SCADA-систем к созданию специальных программных продуктов для уровня управления производством.

Глава 4. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ И SCADA-СИСТЕМЫ

4.1. История развития контроллеров

Контроллеры по отношению к архитектуре прошли несколько этапов [1, 3, 5]:

- первый этап – децентрализованные «релейные контроллеры»;

- второй этап – централизованные программируемые логические контроллеры и специализированные логические контроллеры (СЛК);

- третий этап – децентрализованные модульные ПЛК.

Релейные контроллеры появились еще до появления микропроцессорных технических средств и до сих пор еще присутствуют на производстве в силу большой инертности автоматизации в России.

Функции релейных контроллеров:

- визуальный рассредоточенный контроль: использование вторичных приборов, выполняющих функции вывода информации оператору, регистрации, сигнализации об отклонении от значения нормальной эксплуатации, аналогово-дискретных преобразователей для систем технологических защит;

- рассредоточенное аппаратное управление: использование электромагнитных реле для построения логических алгоритмов в системах технологических защит, системах избирательного и системах автоматического управления, использование регулирующих аналоговых приборов для построения систем автоматического регулирования.

Основные недостатки:

- низкая степень автоматизации контроля и управления технологическим процессом;

- большие затраты на наладку и обслуживание систем, которые увеличиваются в связи с ростом информационной и управляющей сложности систем автоматизации;

- невозможности реализации на существующем оборудовании современных требований к автоматизации.

Предпосылки появления программируемых логических контроллеров:

- развитие и уменьшение стоимости микропроцессорных средств с одновременным увеличением стоимости ресурсоемких компонентов (медный кабель, реле, трансформаторы и т.д.);

- замена датчиков на унифицированные и внедрение информационных систем на базе микропроцессоров с отказом от вторичных приборов и щитов;

- замена релейно-контактных схем, собранных на дискретных компонентах (реле, счетчиках, таймерах, элементах жесткой логики);

- внедрение регулирующих систем на базе микропроцессоров с отказом от релейных схем управления;
- внедрение систем дистанционного управления арматурой и механизмами на базе микропроцессоров с отказом от наборных полей и ключей управления.

Принципиальное отличие ПЛК от релейных схем заключается в том, что все его функции реализованы программно. На одном контроллере можно реализовать схему, эквивалентную тысячам элементов жесткой логики.

Функции программируемых логических контроллеров:

- автоматическое регулирование и логическое управление;
- поддержка технологического языка программирования, не требующего знаний языков программирования;
- системы отображения, регистрации и хранения информации, выполненные на микропроцессорных средствах со специально разработанными программными пакетами;
- системы комплексной автоматизации на основе программно-технических комплексов (ПТК), имеющих сетевую структуру.

ПЛК исполняют прикладное программное обеспечение (ПО), разработка которого выполняется с использованием стандартных языков технологического программирования IEC 61131-3, включающее такие языки, как Ladder Diagram – язык, созданный на базе релейно-контактных схем, Functional Block Diagram – язык функциональных блоковых диаграмм, когда разработка программы ведется посредством стыковки готовых библиотечных модулей.

Следует отметить, что у разработчика, работающего на языках технологического программирования, меньше степеней свободы, что, с одной стороны, уменьшает вероятность внесения ошибки периода исполнения при его недостаточно высокой квалификации как программиста, а с другой – влияет на оптимальность и качество программы под конкретную задачу.

Конфигурирование контроллеров осуществляется при помощи стандартных конфигурационных программ.

Специализированные логические контроллеры – это законченные устройства, предназначенные для решения очень узкого круга задач. СЛК не позволяют пользователю изменять программу, а допускают

лишь конфигурирование на конкретный объект (выбор режима и/или ввод параметров управления).

В основном данные контроллеры не соответствуют общепринятым нормам и стандартам, что и не позволяет использовать данные контроллеры в других системах. В настоящее время данные контроллеры остаются только в сфере узкоспециализированных устройств. Это решение считается лучшим в тех случаях, когда предъявляемые специфические требования невозможно выполнить с помощью стандартных серийных средств. Данный контроллер изготавливается как единое целое и имеет фиксированное число входов/выходов с заранее заданными свойствами.

По конструктивному признаку выделяют СЛК двух типов:

- автономный СЛК (ПИД-регулятор, контроллер управления шаговым двигателем);
- встроенный СЛК - является частью прибора нижнего уровня АСУ ТП (прибор, станок с ЧПУ и т.д.).

Достоинства специализированных логических контроллеров:

- применение СЛК для решения типовых задач автоматизации позволяет уменьшить время и затраты на внедрение АСУТП;
- предельно упрощенная структура и при прочих равных условиях самая высокая надежность.

Недостатки СЛК:

- ограниченность применения и избыточность ресурсов в каждой конкретной реализации вследствие невозможности закрыть всегда ограниченной номенклатурой таких контроллеров бесконечно разнообразные требования потребителей;
- невозможность адаптации процесса регулирования к специфическим особенностям конкретного объекта (так как нет возможности программной подстройки, а только конфигурирование, заложенное разработчиком);
- слаборазвитые коммуникационные возможности.

СЛК ориентированы для автономной работы с местной индикацией и управлением, что влияет на сложность в стыковке с другими ПЛК и верхним уровнем АСУТП.

Устройства сбора и обработки (УСО)

УСО представлены в виде отдельных модулей, устанавливаемых на специализированные платы, имеющие клеммные соединители для подвода внешних цепей.

В структуре АСУТП устройства сбора и обработки занимают место между оборудованием нижнего уровня и контроллерами среднего уровня и осуществляют линейное преобразование сигналов от датчиков с его первичной обработкой (фильтрация, нормализация) и защиты (поканальная гальваноизоляция).

На УСО возлагаются следующие функции:

- ввод сигналов от различных датчиков: температуры, давления, сопротивления и т.д.;
- нормализация аналогового сигнала - приведение границ сигнала первичного источника к одному из стандартных диапазонов аналого-цифрового преобразования;
- фильтрация аналогового сигнала;
- линейный аналоговый выход в виде тока или напряжения в стандартных диапазонах с точностью преобразования порядка 0,05%;
- подавление дребезга источника дискретного сигнала типа "сухой контакт";
- гальваническая изоляция между источником аналогового или цифрового сигнала и измерительного канала управляющего контроллера;
- гальваническая изоляция выходного канала управляющего контроллера как цифрового, так и аналогового от исполнительного устройства;
- коммутация мощной нагрузки (1-20А) и ввод сигналов постоянного и переменного тока с номинальным значением напряжения до 280 В.

Модуль УСО как отдельный тип сформировался недавно и в настоящее время еще используется благодаря своим преимуществам: низкая цена, исключение искажений низковольтных аналоговых сигналов, экономия кабельной продукции, простота проектирования и монтажа и т.п.

Общие недостатки ПЛК и СЛК:

- сложность стыковки контроллеров разных производителей: контроллеры имеют различную закрытую архитектуру;
- отсутствуют единые стандарты на системные шины, полевые шины, на протоколы и языки программирования задач управления;
- каждый производитель контроллеров решал на аппаратном уровне задачи повышения надежности и скорости реакции контроллера на событие.

Предпосылки появления модульных ПЛК:

- удаленные датчики и регуляторы становятся интеллектуальными, при этом уменьшаются количество требуемых измерительных входов в контроллерах и увеличиваются требования к коммуникационным возможностям и модульности контроллеров.

- тенденции разукрупнения схем управления АСУТП и перехода от иерархических к распределенным в угоду требованиям управляемости, живучести и реальному времени.

Для решения выделенных задач в современных автоматизированных системах сформировалась тенденция использования контроллеров с модульной организацией. В этой структуре контроллер разбивается на функциональные блоки-модули, связанные стандартными каналами связи.

Другими словами, модульные ПЛК отличает деструктуризация контроллера на отдельные взаимосвязанные блоки (логически изолированные компоненты).

Такой подход позволяет децентрализовать сложный механизм обработки данных, увеличивает гибкость системы, позволяя легко наращивать контроллер, добавляя необходимые модули на существующие каналы связи.

На сегодняшний день выделяют следующие два типа модульных ПЛК:

- интеллектуальные модули ввода вывода, объединенные стандартной параллельной шиной под управлением мощного вычислительного процессора в едином конструктиве;
- распределенный ввод/вывод информации - интеллектуальные модули, объединенные полевой сетью.

Рассмотрим их более детально. Контроллер разбивается на отдельные блоки (модули), при этом центральный процессор выполняется также в виде отдельного модуля.

Для физической реализации данного типа ПЛК все его блоки объединяются в едином конструктивном исполнении (конструктиве), объединены между собой линиями связи (внутриблочным интерфейсом), к ним должно быть подведено питание и т.д. Совокупность этих средств называется платформой.

Сегодня на рынке доминируют контроллеры со стандартными «внутриблочными» интерфейсами: уже зарекомендовавшим себя

в офисных ПК - ISA, PCI или модифицированные под жесткие условия эксплуатации промышленных контроллеров - VMEbus, PC 104.

Основным достоинством такого подхода является максимально гибкое удовлетворение запросов пользователей за счет создания различных модулей и возможности их произвольного сочетания в одном конструктиве.

Данные ПЛК ориентированы на решение сложных задач управления с мощным математическим аппаратом для средних и крупных участков АСУТП.

PC-совместимые контроллеры.

Контроллеры данного класса характеризуются использованием как контроллеров на базе специализированных микропроцессоров и архитектур, так и контроллеров на базе PC-совместимой архитектуры.

Контроллеры на базе PC (PC based control), как правило, управляют сравнительно небольшими замкнутыми объектами. Общее число входов/выходов контроллера на базе PC обычно не превосходит нескольких десятков соединений, а набор функций предусматривает либо сложную обработку измерительной информации с расчетом нескольких управляющих команд, либо вычисления по специализированным формулам, аргументами которых выступают измеряемые величины.

В качестве периферийных плат промышленных компьютеров используются встраиваемые системы сбора данных, представляющие собой устанавливаемые в компьютер платы ввода/вывода для сопряжения компьютера с любыми исполнительными устройствами. Спектр плат сбора данных включает АЦП, ЦАП, платы дискретного ввода/вывода, платы со встроенными реле, платы сбора данных с термодатчиков (терморезисторов и термопар), устройства управления шаговыми двигателями, счетчики/таймеры. Этот набор инструментов позволяет решать любые задачи контроля и управления - от построения интеллектуальных зданий до автоматизации навигационных систем. Как правило, все платы сбора данных имеют драйвера для DOS, Windows, Linux и совместимы с популярной программой визуального контроля и управления Lab View.

При программировании PC-совместимого контроллера программист может пользоваться любым известным ему компилятором, способным генерировать машинный код, работающий под управле-

нием операционной среды контроллера (например Си++), ему доступны BIOS, программные и аппаратные прерывания. При этом у разработчика не существует зависимости от конкретного производителя уникальной аппаратной архитектуры, и его программы работают одинаково корректно на PC-совместимых контроллерах разных производителей. Последнее, правда, справедливо в случае, если не используются уникальные аппаратные ресурсы конкретного контроллера. Но и в этом случае доработка программного обеспечения минимальна.

4.2. Сравнительный анализ современных ПЛК и PC-совместимых контроллеров

Программируемые логические контроллеры имеют по сравнению с PC-контроллерами ряд преимуществ: выполнение программ в реальном времени, большее быстродействие, значительно упрощенная архитектура (и как следствие повышенная надежность).

К недостаткам можно отнести необходимость наличия специализированного программного обеспечения и дополнительного обучения специалистов.

К важным достоинствам PC-совместимых контроллеров следует отнести:

- открытую архитектуру, легкость подключения любых блоков ввода/вывода, выпускаемых третьими фирмами;
- возможности по использованию широкой номенклатуры наработанного системного и прикладного программного обеспечения (операционных систем реального времени, баз данных, пакетов прикладных программ контроля и управления, протоколы полевых шин). С производителя во многом снимается задача по программной поддержке своего изделия. Необходимо только добавлять библиотеки доступа к новым платам УСО;
- стоимость микросхем для производства процессорных модулей PC-совместимых контроллеров существенно ниже из-за огромных тиражей, которыми они выпускаются;
- высокая производительность позволяет возложить на программное обеспечение большое количество задач, которые решались раньше аппаратно. Это еще один фактор сокращения стоимости;

- при наличии Softlogic-систем с производителя контроллеров в случае выбора PC-архитектуры снимается проблема создания инструментальных средств программирования его изделий. При этом пользователь получает стандартные, уже известные ему языки программирования контроллера.

К недостаткам можно отнести:

- специфические требования PC-совместимых контроллеров к параметрам окружающей среды, которые не должны сильно отличаться от условий работы обычных офисных персональных компьютеров, так как используется одна и та же элементная база;

- низкую скорость старта PC-совместимого контроллера, так как при использовании универсальных операционных систем требуется дополнительное время на их загрузку и запуск приложения под их управлением.

При наличии большого количества плюсов и малых минусов (которые легко обходятся) большинство производителей, давно работающих на рынке контроллеров, стали постепенно переходить на PC-платформу, а контроллеры переходят в класс интеллектуальных модулей УСО, для которых требования надежности и малой стоимости являются определяющими.

Промышленные компьютеры

Промышленные компьютеры представляют собой устройства повышенной надежности, способные работать в неблагоприятных условиях окружающей среды, таких как пыль, влага, низкие/высокие температуры, вибрация и т.д.

Промышленные компьютеры имеют ряд конструктивных особенностей, отличающих их от обычных офисных PC. Вместо стандартных системных плат в корпус промышленных компьютеров устанавливаются пассивные объединительные шины, которые содержат разъем питания и слоты расширения для установки процессорных плат формата ISA, PICMG, PCISA, PIAGP и периферийных плат ISA, PCI, AGP, служащих для связи с внешними устройствами (различными датчиками, исполнительными устройствами и каналами коммуникации). Такая конструкция позволяет производить замену любой платы (в том числе процессорной) за считанные минуты. Некоторые модели пассивных шин позволяют собирать на одной плате до четырех независимых компьютерных систем. Корпуса про-

мышленных компьютеров могут быть предназначены для установки в 19" стойку, иметь настольное или настенное исполнение, а также монтироваться на DIN-рейку. Для предохранения от загрязнений и несанкционированного доступа корпуса часто оборудованы специальной дверцей с замком. Практически все модели промышленных корпусов имеют вентилятор со сменным фильтром.

Современные промышленные компьютеры снабжены специализированными источниками питания, которые отличаются от обычных высокой надежностью и долговечностью, имеют широкий диапазон входных напряжений, а также могут поддерживать защиту от перенапряжений и коротких замыканий по выходу. Существуют также резервируемые блоки питания для использования в высоконадежных серверных системах.

Широкое распространение получили промышленные рабочие станции, у которых системный блок и дисплей размещены в одном защищенном корпусе, а клавиатура, выполненная по мембранной технологии, встроена непосредственно в переднюю панель. Рабочие станции имеют, как правило, защиту IP-65 (практически полная защита от пыли и воды) по передней панели и могут устанавливаться в непосредственной близости от промышленного объекта. В одном ряду с рабочими станциями также стоят панельные компьютеры и устройства человеко-машинного интерфейса (HMI). Они отличаются от рабочих станций гораздо меньшей толщиной (несколько сантиметров), позволяют подключать не более 1 периферийной платы и не имеют встроенной клавиатуры. Панельные компьютеры и устройства человеко-машинного интерфейса используются для отображения информации, а также для визуализации технологических процессов и управления. И рабочие станции, и панельные РС, и устройства HMI могут быть, как правило, оснащены сенсорным экраном (touch screen). Помимо конструктивных отличий промышленные компьютеры, по сравнению с офисными, имеют дополнительные функции, например, сторожевой таймер (watchdog), автоматически перезапускающий систему в случае зависания программы, или возможность хранения параметров технологического процесса в энергонезависимой памяти для защиты от сбоев питания. Часто операционная система загружается из ПЗУ, а в качестве накопителей используются электронные диски, в том числе на базе флэш-памяти.

4.3. Требования, предъявляемые к контроллерам АСУТП

Требования к контроллерам со стороны системных свойств:

- возможность модернизации и наращиваемости контроллера (добавление или изменение типов датчиков, изменение конфигурации и типа линии связи с центром);
- обеспечение гарантированного времени реакции на внешние события, поступающие от объекта (исполнительные устройства, датчики) за время, определенное для каждого события;
- гибкость и способность к взаимодействию с другими подсистемами, совместимость с существующими системами, легкая расширяемость и перестраиваемость, согласованность со стандартами;
- «открытость» – соответствие стандартам по электрическим параметрам, коммуникационным протоколам, инструментальным средствам;
- ориентация как на специальные коммуникации, так и на имеющиеся на предприятиях и в зданиях сети: телефонные, охранные, электропитания;
- возможность интегрирования в единую систему АСУТП контроллеров различных производителей, выполненных в стандарте открытых систем;
- сопряжение контроллеров разных фирм с различными SCDA-системами через стандартные средства межзадачного обмена;
- единая технология программирования контроллеров различных фирм и переносимость технологических программ пользователя;
- низкие требования к качеству электропитания;
- децентрализация и автономное выполнение различных функций;
- широкая номенклатура модулей, позволяющая разрабатывать многофункциональные системы контроля и управления;
- наличие интеллектуальных модулей ввода/вывода, в том числе модулей, регуляторов автономного функционирования;
- соответствие современным задачам управления и требованиям к составу и функциональности операторских интерфейсов;
- модульность и функциональная расширяемость в необходимом ассортименте специализированных интерфейсов УСО;
- масштабирование систем;

- подключение к глобальной информационной сети Интернет (встроенный Web-сервер); не зависящая от верхнего уровня сеть межконтроллерного обмена данными;

- компактность и встраиваемость, которая оценивается как непосредственно по физическому объему собранного контроллерного узла, так и по объему работ по интеграции данного узла в состав объекта;

- повышение производительности и уменьшение времени цикла контроллера за счет сокращения нагрузки на центральный процессор по объему вычислений и интенсивности обменов данными с модулями УСО, возможность повышения за счет этого информационной емкости контроллера;

- наличие встроенных гальванически изолированных каналов релейной коммутации мощной нагрузки, что избавит от применения дополнительных модулей УСО (управление электродвигателями насосов и вентиляторов, соленоидными клапанами);

- наличие гальванически изолированных каналов дискретного ввода для регистрации "сухого контакта" без применения дополнительных модулей УСО;

- минимальные требования к параметрам эксплуатации.

Требования со стороны надежности:

Требования по надежности предполагают обеспечение автономной и бесперебойной работы контроллера с непредсказуемым изменением значений внешних параметров и условий окружающей среды.

После анализа требований по надежности с разных точек зрения (разработчики, эксплуатационщики) можно выделить пути обеспечения надежности контроллера:

- защита контроллера и его компонентов от внешних параметров, выходящих (явно или потенциально) за допустимые номинальные значения;

- полная гальваническая развязка всех входных и выходных каналов контроллера вследствие низкого качества заземления технологического оборудования;

- защита выходов модулей УСО от короткого замыкания;

- непрерывная внутримодульная диагностика, наличие сторожевых таймеров во всех модулях;

- должны предусматриваться различные варианты полной текущей диагностики неисправностей с глубиной до отдельной платы;

- во всех интерфейсах, используемых в контроллере, должны быть предусмотрены защитные коды, предохраняющие информацию от искажений во время передачи и хранения;

- уменьшение количества компонентов как общего количества, так и тех, которые уменьшают надежность устройства;

- контроллер должен состоять из минимального числа образующих его элементов, чем меньше компонентов, тем меньше вероятность выхода их из строя;

- отказ от использования в контроллере компонентов низкой надежности;

- снижение числа межмодульных контактных соединений за счет использования последовательной внутренней шины (отказ от параллельной);

- отсутствие специализированного оборудования для обеспечения номинальных условий эксплуатации, так как в данном случае на надежность контроллера будет прямым образом влиять надежность данного оборудования (к примеру подсистем кондиционирования);

- минимальные размеры и простота прикладных программ, так как увеличение размеров программ ведет к экспоненциальному росту числа ошибок и сложности проверки правильности ее функционирования;

введение резервирования как отдельных компонентов, так и всего устройства в целом: дополнительных линий связи, дублирование контроллера или его наиболее важных блоков.

К наиболее распространенным способам резервирования контроллеров можно отнести:

- горячий резерв отдельных компонентов и/или контроллера в целом (при непрохождении теста в рабочем контроллере управление переходит ко второму контроллеру);

- троирование основных компонентов и/или контроллера в целом с голосованием по результатам обработки сигналов всеми контроллерами, составляющими группу (за выходной сигнал принимается тот, который выдали большинство контроллеров группы, а контроллер, рассчитавший иной результат, объявляется неисправным);

- работа по принципу "пара и резерв". Параллельно работает пара контроллеров с голосованием результатов, и аналогичная пара

находится в горячем резерве. При выявлении разности результатов работы первой пары управление переходит ко второй паре; первая пара тестируется, и либо определяется наличие случайного сбоя и управление возвращается к первой паре, либо диагностируется неисправность и управление остается у второй пары.

Здесь необходимо отметить, что при введении резервирования нужно делать выбор между стоимостью и надежностью оборудования. Оптимальных решений, как правило, нет, однако есть базовые принципы, которые следует соблюдать при проектировании среднего уровня распределенных АСУ ТП, а именно:

- резервирование цеховых (фронтальных) контроллеров;
- распределение функций в многопроцессорной системе фронтальных контроллеров;
- резервирование информационной магистрали или локальных контроллеров наиболее ответственных объектов;
- резервирование цепей аварийного останова системы;
- резервирование цепей дистанционного управления оборудованием (по необходимости);
- резервирование контрольно-измерительных каналов (по необходимости);
- дублирование центрального процессора и блока питания;
- резервирования модулей УСО, установленных на одной шине, с возможностью «горячей» замены модулей;
- возможность резервирования шин УСО вместе с подключенными к ним модулями УСО;
- дублирование каналов связи контроллера (обмен по двум независимым каналам связи).

4.4. SCADA-системы

Прогресс в области SCADA-систем в последние годы получил значительное ускорение. Привлечение разработчиками новейших информационных технологий, интеграция приложений, встраивание стандартных языковых средств для программирования пользовательских алгоритмов и экранных взаимодействий значительно повысили эффективность SCADA-систем. В распоряжении пользователей разных групп теперь появляется мощный инструментарий. Технологии распределенной межсетевой архитектуры для корпоративных

систем DNA (Distributed interNet Architecture) в среде MS Windows, комплексирование продуктов для управления технологией и офисов создают новые возможности в интеграции систем управления и перераспределения функций между ними. Теперь в дежурный список поддерживаемых системами технологий и интерфейсов дополнительно к уже ставшим традиционными DDE, DLL, OLE, ODBC/SQL включаются объектные компонентные модели COM/DCOM с ActiveX, технологии Java, универсальный интерфейс связи с внешними устройствами OPC, языки стандарта IEC 61131-3, языки описаний на основе Visual Basic for Applications, Internet/Intranet и т.д.

В распоряжении разработчиков и пользователей разных уровней оказывается мощный и пластичный инструментарий современных SCADA-систем, поддерживаемый средствами операционных систем и сетевых архитектур. Решения прикладных проблем в конкретных проектах становятся многовариантными благодаря таким возможностям, как распределение функций между станциями и формирование функциональных нагрузок станций; подключение внешних средств обработки данных (электронных таблиц, баз данных и др.) - статистической обработки, контроля технико-экономических показателей (ТЭП) и т.д.

Конечных пользователей не очень интересует перечень технологических средств, использованных в конкретной SCADA-системе. Для него важны функциональные и коммуникационные возможности и технические характеристики систем, например, такие, как возможность через Internet приобрести нужный фрагмент для разрабатываемой станции и без проблем "вставить" его в проект; руководству фирмы - "заглянуть" на экраны операторских станций дальнего предприятия и убедиться в соблюдении технологии; программисту - по просьбе заказчика проверить работу своей программы в системе управления и после исправлений немедленно переслать новый вариант. В целом новации в SCADA-системах обеспечивают значительное снижение затрат труда на разработку и обслуживание операторских станций, повышение скоростей и дальности (Internet) обмена данными в системах управления и многие другие, важные для применений, качества. Добавим, что интеграция систем управления на всех уровнях в пределах предприятия, о которой говорили уже несколько десятилетий, теперь обеспечена средствами интегрированных программ-

ных систем (наборов) и коммуникаций. Удобство применения - совокупность средств и качеств, обеспечивающих пользователям достаточно быстрое освоение и успешное применение программной системы. К ним относятся следующие:

1. Дружественность диалога (считается, что это качество обеспечивается применением получившими признание стандартов де-факто в оформлении интерфейса с пользователем - "Windows-подобный интерфейс"); полнота и наглядность представления функций системы на экране, удобство и информативность контекстных и оперативных подсказок (help), справочной системы.

2. Качество документации: полнота, ясность и наглядность описаний системы, ошибки и неточности; применение установившейся терминологии. Для импортных программных продуктов: русификация, уровень русификации (экраны, подсказки (helps), справочная система, системные сообщения, документация).

3. Удобство сопровождения системы при эксплуатации: полнота/недостаточность средств диагностики состояния системы при сбоях и отказах, нарушениях внешних связей; трудоемкость и уровень автоматизации работ при инсталляции системы; возможности внесения изменений в базу данных системы и коррекции экранов без ее останковки и т.д.

4. Наблюдавшиеся и выявленные ошибки и отказы в работе программ, а также их значимость при работе системы управления.

Все показатели имеют либо количественный характер (информационная мощность, требования к ресурсам, стоимость и т.д.), либо качественный (наличие/отсутствие конкретных средств - функций, опций, интерфейсов), а также, возможно, представляют собой перечисление (например форматы импорта).

Технические и экономические характеристики программных продуктов в основном документируются и публикуются и должны гарантироваться разработчиками. Их можно получить из документации. Характеристики удобства применения и качества документации в значительной мере носят субъективный характер и не имеют оценочной меры. О характеристиках применения можно судить только по результатам практического использования продукта: тестирования, опробования, анализа, опыта промышленного внедрения. Отметим, что косвенной характеристикой качества и отработанности тиражного

программного продукта служит его положение на рынке, поскольку большое число реализаций продукта свидетельствует о солидном опыте применений, учтенном при обновлениях продукта, и о завоеванном авторитете у пользователей всех групп.

Автоматизированные рабочие места (АРМ) верхнего уровня АСУТП образуют единый информационно-вычислительный комплекс (ИВК).

АРМы выделяются как полностью дублирующие (равноправные по получаемым данным и по функциям управления) друг друга рабочие места (АРМ оператора-технолога), так и как технологически ориентированные рабочие места, адекватно учитывающие специфику работы персонала и технологии участка производства (АРМ-геолога, АРМ-гл.инженера, АРМ-энергетика и т.д.).

На этом уровне осуществляется наблюдение за технологическим процессом. Технологический процесс на экране монитора представляется в виде мнемосхемы, при этом параметры технологического процесса могут отображаться в реальном масштабе времени как в цифровом виде, так и посредством анимированных изображений, изменяющих свой цвет, размер, положение, внешний вид - в зависимости от состояния соответствующего параметра (мнемосхемы, панели сигнализации, тренды, графики и т.п.).

Помимо функций визуализации состояния технологического процесса системы диспетчеризации обеспечивают регистрацию и архивацию значений технологических параметров, формирование, протоколирование и выдачу сигналов тревог (визуальных, звуковых), протоколирование действий персонала, расчет текущих технико-экономических показателей и формирование оптимальных регламентов работы оборудования, которые передаются для исполнения на уровень управления процессом.

С целью обеспечения независимости ПО SCADA от программных и аппаратных особенностей промышленной сети и контроллеров разработана спецификация OPC (OLE for Process Control), позволяющая независимым разработчикам программного обеспечения и аппаратных средств создавать совместимые между собой продукты.

Связь SCADA-системы с нижним уровнем производится через стандартные OPC сервера, поставляемые фирмами-изготовителями контроллеров нижнего уровня.

Задачи, решаемые на верхнем уровне АСУТП:

- прием и сохранение в архивах принятой информации о контролируемых технологических параметрах от оборудования нижестоящего уровня (контроллеров и датчиков);
- обработка принятой информации в реальном масштабе времени;
- математическая обработка информации от «нижнего» уровня с целью получения реальной картины состояния всего технологического процесса;
- сравнение измеренных значений технологических параметров с заданными значениями и формирование сигналов управления, а также предупредительной и аварийной сигнализации;
- сохранение принятой информации в единой базе данных;
- отображение хода технологического процесса в виде мнемосхем, трендов (графиков изменения параметров во времени), индикаторов; хронометрирования основных технологических параметров, формирование протокола событий и архивных данных;
- обмен информацией с автоматизированной системой управления предприятием;
- прием команд оператора и передача их контроллерам и исполнительным механизмам;
- непосредственное автоматическое управление технологическим процессом в соответствии с заданными алгоритмами и технологическими регламентами;
- регистрация событий, связанных с контролируемым технологическим процессом и действиями персонала, ответственного за эксплуатацию и обслуживание системы;
- оповещение эксплуатационного и обслуживающего персонала об обнаруженных аварийных событиях, связанных с контролируемым технологическим процессом и функционированием программно-аппаратных средств АСУТП, с регистрацией действий персонала в аварийных ситуациях;
- формирование сводок и других отчетных документов на основе архивной информации.

Особенности процесса управления в современных диспетчерских системах:

- процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно наличие человека;

- процесс SCADA был разработан для систем, в которых любое неправильное воздействие может привести к отказу (потере) объекта управления или даже катастрофическим последствиям;

- оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая при нормальных условиях только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальной производительности;

- активное участие оператора в процессе управления происходит нечасто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и пр.);

- действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

Требования к системам верхнего уровня:

- работа только с технологической информацией, отражающей основной технологический процесс. Поэтому АРМы должны быть сориентированы на работу в терминах и понятиях технологического процесса;

- обеспечение открытости как с точки зрения подключения различного контроллерного оборудования, так и коммуникации с другими программами;

- наличие гибких средств, обеспечивающих пользователю эффективное создание экранных форм с минимальными затратами труда и времени (максимальная автоматизация рутинных процессов);

- простота разработки приложений и доступность не только для разработчика, но и для конечного пользователя создаваемой АСУТП, поскольку облик системы определяется и может подвергаться изменениям как разработчиком, так и пользователем (возможность самообучения специалистов);

- максимальная открытость: во-первых, возможность сопряжения с различными продуктами других фирм (ПО технологических контроллеров, СУБД, другими SCADA), во-вторых, наличие мощного и универсального скриптового языка и, в-третьих, возможность встраивания в SCADA готовых компонентов (в первую очередь - ActiveX);

- масштабируемость и полнофункциональность, позволяющие создавать проекты разного масштаба от сотен сигналов до десятков тысяч и для различных задач промышленной автоматизации;

- надежность (технологическая и функциональная), устойчивость к ошибкам во внешних компонентах и к некорректным действиям обслуживающего персонала, то есть:

- никакой единичный отказ оборудования не должен вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления;

- никакая единичная ошибка оператора не должна вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления;

- все операции по управлению должны быть интуитивно-понятными и удобными для оператора (диспетчера);

- эффективность - обеспечивать необходимую функциональность и быстрдействие при ограниченных требованиях к компьютеру;

- умеренная цена на основное ПО и на лицензии исполнительных модулей пакета;

- наличие средств компьютерной защиты информации, разграничение ответственности пользователей;

- предоставление обслуживающему персоналу гибкого инструментария для анализа поступающей информации. В стандартный набор типовой SCADA, как правило, не входят средства для решения и гибкого анализа, а возможности, предоставляемые стандартными SCADA-пакетами, являются явно недостаточными для выполнения полноценного, детального анализа поступающей информации. Для увеличения отдачи от системы автоматизации в ее состав должна входить некоторая надстройка, обеспечивающая выполнение функций анализа, формирования технологических и технико-экономических балансов для технологических объектов/узлов, включая приведенные, расчетные и удельные показатели, построения сравнительных таблиц, графиков, диаграмм с произвольным набором параметров, указанных пользователем и т.п.

Технические средства верхнего уровня:

- операторские станции, организующие информационное сопровождение и оперативное управление технологическим процессом;

- инженерные станции, организующие доступ инженера к программному обеспечению для отладки и тестирования;

- промышленный сервер обеспечивает ввод и обработку информации, формирование алгоритмов управления и вывод управ-

ляющих воздействий в схемы управления арматурой и механизмами, накопление в реальном масштабе времени и надежное длительное хранение больших объемов технологической информации, а также доступ к ней с большого числа операторских и инженерных станций;

- сетевое оборудование, обеспечивающее передачу информации и управления между станциями и устройствами ПТК;

- устройства связи с другими ПТК или АСУ или устройства удаленного доступа.

SCADA-системы обеспечивают выполнение следующих основных функций:

1. Прием информации о контролируемых технологических параметрах от контроллеров нижних уровней и датчиков.

2. Сохранение принятой информации в архивах.

3. Вторичная обработка принятой информации.

4. Графическое представление хода технологического процесса, а также принятой и архивной информации в удобной для восприятия форме.

5. Прием команд оператора и передача их в адрес контроллеров нижних уровней и исполнительных механизмов.

6. Регистрация событий, связанных с контролируемым технологическим процессом и действиями персонала, ответственного за эксплуатацию и обслуживание системы.

7. Оповещение эксплуатационного и обслуживающего персонала об обнаруженных аварийных событиях, связанных с контролируемым технологическим процессом и функционированием программно-аппаратных средств АСУТП с регистрацией действий персонала в аварийных ситуациях.

8. Формирование сводок и других отчетных документов на основе архивной информации.

9. Обмен информацией с автоматизированной системой управления предприятием (или, как ее принято называть сейчас, комплексной информационной системой).

10. Непосредственное автоматическое управление технологическим процессом в соответствии с заданными алгоритмами.

Если попытаться коротко охарактеризовать основные функции, то можно сказать, что SCADA-система собирает информацию о технологическом процессе, обеспечивает интерфейс с оператором,

сохраняет историю процесса и осуществляет автоматическое управление процессом в том объеме, в котором это необходимо.

Перечисленные возможности SCADA-систем в значительной мере определяют стоимость и сроки создания ПО, а также сроки ее окупаемости.

АСУТП позволяет решить ряд проблем.

Достижение максимального КПД производства

Задача выражается как повышение объема выпускаемой продукции или добыча и поставка максимального объема сырья с минимальными затратами (снижение себестоимости продукции, уменьшение потерь). Путь решения - оптимизация технологического процесса и участвующего в нем оборудования на основании анализа накопленной информации о технологическом процессе.

Основываясь на анализе информации о ходе технологического процесса, автоматизированная система должна прогнозировать его дальнейшее поведение, производить настройку параметров технологического процесса самостоятельно или выдавать рекомендации обслуживающему персоналу для достижения максимального КПД работы производства.

Повышение качества выпускаемой продукции

Для решения этой задачи необходимо повышение точности контроля и управления объектами, внедрение математических методов оптимизации и т.д.

Обеспечение надежного функционирования производства - предотвращение аварий и нештатных ситуаций.

Основываясь на результатах анализа работы оборудования, автоматизированная система должна прогнозировать дальнейшее его поведение и своевременно извещать обслуживающий персонал о возможных аварийных ситуациях и/или изменять функционирование технологического процесса для предотвращения аварий (обеспечение безопасности его функционирования).

Автоматизированная система на предприятии призвана продлить ресурс оборудования (увеличение межремонтных сроков работы) за счет функций контроля и своевременного устранения отклонения в характеристиках его работы. Она призвана свести к минимуму остановки в работе оборудования за счет рациональной организации технологических режимов с учетом оптимальной загрузки всего технологического оборудования.

Снижение затрат на обслуживание технологического процесса

Под данными затратами понимаются затраты на тепло-, водо- и электроэнергию, а также на зарплату обслуживающего персонала.

Первая задача решается с АСУТП путем строгого учета распределения данной энергии по предприятию (технический учет) в реальном масштабе времени для быстрого реагирования на устранение ее утечек и потерь. Задача учета включает в себя оперативное построение/формирование полных технологических и технико-экономических балансов для любых технологических узлов/участков/цехов с использованием технико-экономических показателей (ТЭП), включая приведенные и удельные показатели (например удельное энергопотребление и т.п.). На производстве, где внедрена и используется АСУТП, задействовано минимальное количество работников, необходимых для принятия оперативных решений и корректировки алгоритмов работы управления технологическим процессом.

Повышение безопасности производства и снижение отрицательного влияния его на окружающую среду: исключение из технологического процесса «человеческого» фактора и ошибок, с ним связанных, постоянный контроль параметров для поддержания их в заданных пределах и выполнения автоматических блокировок при выходе параметров за аварийные пределы.

Повышение эффективности использования персонала и обеспечение более комфортных условий его труда:

- снижение трудоемкости управления технологическими процессами путем полной автоматизации производства;
- обеспечение возможности дистанционного доступа к технологической информации служб диспетчеризации и ведущих специалистов для принятия ими оперативных решений и взаимного формирования стратегических прогнозов и планов;
- улучшение условий труда персонала, исключение необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала на удаленных и опасных объектах;
- более эффективное использование рабочего персонала. К примеру, при устранении неполадок, опираясь на представленную системой автоматизации информацию о ее причинах, для устранения неполадок в работе производства к месту аварии направля-

ются именно те специалисты, которые могут сразу устранить причину. Этот аспект наиболее значим для распределенных производств, в которых большая часть объектов технологического процесса территориально рассредоточена на большие расстояния.

4.5. Программируемые логические контроллеры ПЛК-100, ПЛК-150

Программируемые логические контроллеры компании ОВЕН обладают большими вычислительными ресурсами и развитой структурой интерфейсов (RS-232, RS-485, Ethernet 100 и USB), что позволяет применять их во многих областях промышленности, а также обеспечивает лёгкую интеграцию в различные сети, возможность подключения оборудования, расширение количества входов/выходов и многое другое. Для достижения простоты и удобства программирования контроллера компания ОВЕН заключила партнёрские соглашения с немецкой компанией 3S-Software и приобрела среду программирования CoDeSys – лучшую на сегодня в мире среду программирования ПЛК.

Линейка программируемых логических контроллеров ОВЕН сегодня представлена на рынке двумя изделиями: ОВЕН ПЛК100 и ПЛК150. Контроллеры спроектированы в соответствии с требованиями стандартов IEC 6-1131-2 и ГОСТ Р 51840-2001. Технические характеристики ОВЕН ПЛК100 и ПЛК150 приведены в таблице.

Дискретные выходы (DO) ПЛК100 могут быть двух типов – в виде силовых реле или сдвоенных транзисторных ключей. Шесть силовых реле способны коммутировать нагрузку до 8 А при напряжении 220 В, а транзисторные ключи (12 штук в ПЛК100) коммутируют напряжение питания (+ 24 В) на выходную клемму. ПЛК150 оснащены четырьмя менее мощными реле (до 4 А, 220 В). К дискретным выходам можно подключать силовые реле или иное оборудование, управляемое сигналом с напряжением 24 В. Максимальный ток транзисторного ключа составляет 150 мА. Любой дискретный выход может быть настроен на выдачу ШИМ-сигнала, генерируемого с высокой точностью. Это избавляет разработчика программы ПЛК от необходимости использовать специальные алгоритмы для точной генерации ШИМ-сигнала и вводить дополнительные таймеры.

Таблица

Параметры	ОВЕН ПЛК100	ОВЕН ПЛК150
Общие сведения		
Тип корпуса	Для крепления на 35-мм DIN-рейку, длина 105мм	
Степень защиты корпуса	IP20	
Диапазон рабочих температур	-20...70°C	
Напряжение питания (два варианта исполнения)	=24 В / ~ 220 В	
Потребляемая мощность	6 Вт	
Индикация на передней панели	Светодиодная	
Ресурсы		
Центральный процессор	32-разрядный RISC-процессор 200 мГц на базе ядра ARM9	
Объем оперативной памяти	8 Мбайт	
Объем энергонезависимой памяти хранения программ	4 Мбайт (Flash-память, специализированная файловая система)	
Размер Retain-памяти	4 Кбайт	
Дискретные входы		
Количество дискретных входов	8	6
Тип сигнала дискретного входа: = 24 В ~ 220 В	15 В... 24 В соответствует логической 1, 0 В...5 В – логическому 0 сухой контакт (разомкнут – логический 0; замкнут – логическая 1)	

Продолжение таблицы

Параметры	ОВЕН ПЛК100	ОВЕН ПЛК150
Гальваническая изоляция дискретных входов	На 1,5 кВ, групповая	
Рабочая частота дискретных входов	До 10 кГц	
<i>Аналоговые входы</i>		
Количество аналоговых входов	Нет	4
Предел основной приведенной погрешности	-	0,5 %
Типы поддерживаемых датчиков (подключение датчика с выходным унифицированным сигналом тока или напряжения осуществляется напрямую и не требует согласующих резисторов)	-	Платиновые термопреобразователи сопротивления 50, 100, 500 и 1000 Ом (по двухпроводной схеме) термопары
Типы поддерживаемых входных сигналов: тока напряжения сопротивления	-	0...5 мА, 0(4)...20 мА 0...1 В, 0...10 В до 5 кОм
Время опроса одного аналогового входа	-	0,5 с

Продолжение таблицы

<i>Дискретные выходы</i>		
Количество дискретных выходов и варианты их исполнения	6 э/м реле (220 В, 8 А) 12 транз. кл., коммутирующих +U _{пит}	4 реле (220 В, 4 А)
Гальваническая изоляция дискретных выходов	1,5 кВ, индивидуальная	
<i>Аналоговые выходы</i>		
Количество аналоговых выходов	-	2
Разрядность	-	10 бит
Тип выходного сигнала (варианты исполнения): тока напряжения универсальный (программное переключение типа выходного сигнала)	-	4...20 мА 0...10 В 0...10 В или 4...20 мА
Наличие встроенного источника питания	-	Общий, гальванически изолированный (1,5 кВ)
<i>Интерфейсы связи</i>		
Интерфейсы	Ethernet 10/100 mbps RS-232-2 штуки, RS-485	Ethernet 10/100 mbps RS-232-2, RS-485
Скорость обмена по интерфейсам RS	Настраиваемая, до 115200 bps	
Протоколы	ОБЕН, Modbus – RTU, Modbus - ASCII, Modbus - TCP, Dcon Gateway (протокол CoDeSys)	

<i>Программирование</i>	
Среда программирования	CoDeSys-2.3
Языки программирования	IL, ST, LD, SFC, FBD + дополнительный язык CFC
Размер пользовательской программы	Ограничен размерами свободной памяти (около 1млн инструкций)
Интерфейс для программирования и отладки	RS-232 или Ethernet

Аналоговые входы (AI) ПЛК150 выполнены по двухпроводной схеме. Они работают с сигналами сопротивления (до 5 кОм), напряжения (до 10 В) или тока (до 20 мА). Подключение любого вида сигнала осуществляется напрямую без дополнительных согласующих элементов, шунтирующих резисторов и т. п. Также в ПЛК150 реализованы программные модули обработки сигналов термосопротивления и термопары для перевода их в температурные значения. Имеются возможности подключения к контроллерам платиновых термосопротивлений 50, 100, 500 и 1000 Ом по двухпроводной схеме и термопар (ПЛК150 имеет встроенные измерители температуры свободных концов термопар).

Аналоговые выходы (AO) ПЛК150 могут быть одного из трех типов: токовый, напряжения или универсальный. Токовый выход выдает ток в диапазоне от 4 до 20 мА, выход напряжения – от 0 до 10 В. Универсальный выход может выдавать либо напряжение, либо ток в указанных диапазонах. Переключение выходного сигнала выполняется программным способом при конфигурировании ПЛК. Аналоговые выходы имеют собственный встроенный, гальванически развязанный блок питания, поэтому подключение внешнего блока питания не требуется.

Программируемые логические контроллеры ОВЕН построены на базе высокопроизводительного RISC-процессора архитектуры семейства ARM. Используемый процессор работает на тактовой частоте 200 мГц. В приборах ОВЕН ПЛК нет операционной системы, которая может потреблять до 30% вычислительных ресурсов, поэтому с уве-

ренностью можно сказать, что позволяет выполнять сложные вычислительные задачи в минимальное время. Для оценки: цикл типовой программы по обработке 100 дискретных точек ввода/вывода ПЛК выполняет за 1 мс. Кроме того, отсутствие операционной системы, которая часто грешит зависаниями, обеспечивает высокую надёжность работы программной части ОВЕН ПЛК.

Оба контроллера ОВЕН ПЛК располагают развитой структурой интерфейсов и поддерживают ряд стандартных протоколов. Это позволяет использовать их как мощный сетевой вычислитель, подключать к ним широкий спектр модулей УСО (устройств сопряжения с объектом), а также работать со специализированными SCADA-системами (OPC-сервер CoDeSys в комплекте).

Специализированный модуль универсального сетевого интерфейса решает задачу реализации в среде CoDeSys любого сетевого протокола, штатно не поддерживаемого контроллером ОВЕН ПЛК. Это даёт возможность подключения к контроллерам практически любого оборудования, располагающего встроенными интерфейсами RS-232, RS-485 или Ethernet. Поддержка разных протоколов позволяет превращать ОВЕН ПЛК в сетевой шлюз (например, между сетями с протоколами ОВЕН и Modbus).

Контроллеры ПЛК100 и ПЛК150 обладают современными расширенными функциональными и эксплуатационными возможностями.

Первое – это наличие встроенного аккумулятора резервного питания, который позволяет сохранить работоспособность контроллера после отключения основного питания (до 10 минут). При выключении основного питания работа программы приостанавливается, но сохраняются все данные и результаты промежуточных вычислений, а также функция обмена по сети Ethernet, так что контроллер имеет возможность послать сигнал об отключении питания на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. И самое главное: после восстановления основного питания контроллер мгновенно восстанавливает рабочий режим, не тратя время на загрузку. Это важный момент, так как управляющий контроллер не может корректно воздействовать на объект управления во время загрузки, в результате чего появляется угроза перехода в аварийный режим работы и выхода из строя объекта управления.

Второе – если всё-таки основное питание отсутствовало более 10 мин, то при его подключении ОВЕН ПЛК будет перезагружен. Для того чтобы не возникло описанной выше ситуации с выходом из строя объекта управления, в ПЛК введён специальный режим перевода выходов в безопасное состояние. При настройке контроллера для каждого выхода задаётся состояние, при котором объект управления переводится в безопасный режим. При перезагрузке контроллера или в случае аварийной ситуации ПЛК также переходит в безопасное состояние.

Третье – большой объем внутренней энергонезависимой Flash-памяти и наличие специализированной файловой системы даёт возможность сохранить проект CoDeSys непосредственно в контроллере. Если в процессе эксплуатации ОВЕН ПЛК возникнет необходимость внесения изменений в работу контроллера, то исходный проект легко найти в самом контроллере. Также встроенная Flash-память может быть использована для хранения архивов данных или результатов измерений. Архивы можно считать непосредственно из ПЛК через интерфейсы RS-232 или Ethernet и открыть в программе обработки электронных таблиц (например Excel) или любом текстовом редакторе.

Дополнительно отметим, что ПЛК оснащён часами реального времени с собственным аккумуляторным питанием, имеет удобные надёжные винтовые клеммы и покупателю не требуется приобретать специальные кабели для подключения. В комплекте с контроллером поставляется также кабель для подключения к порту RS-232, по которому выполняется загрузка пользовательских программ. Подключение к остальным цифровым интерфейсам реализуется стандартными кабелями.

На сегодняшний день компания ОВЕН располагает собственными модулями ввода/вывода ОВЕН МВА8 и МВУ8, которые поддерживают интерфейс RS-485. Для увеличения количества дискретных, аналоговых и прочих возможных входов и выходов в 2007 году намечен выпуск модулей расширения ввода/вывода с поддержкой интерфейсов RS-485 и Ethernet.

Программируемые логические контроллеры ОВЕН ПЛК100 и ПЛК150 выполнены в соответствии с европейскими стандартами и не уступают по своим техническим характеристикам, производительности, надёжности и качеству исполнения, а также количеству дополни-

тельных функций аналогам ведущих мировых производителей, таких как Siemens, Omron, Wago, Vipa и т. д. При этом цена контроллеров ОВЕН ПЛК ниже аналогичных изделий перечисленных компаний.

Глава 5. СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

5.1. Определения и терминология

Системы ЧПУ строятся на базе аппаратных и программных средств, ориентированных на применение микропроцессоров и компьютеров, быстродействующего автоматизированного электропривода, обеспечивающего воспроизведение программных траекторий движения, а также системах автоматизированного проектирования, подготовки и отладки системного и прикладного программного обеспечения.

Под числовым программным управлением понимается управление с помощью аппаратных и программных средств, обеспечивающее быстрый переход на различные программы работы оборудования путем набора ее или записи условным кодом на программоносителе.

В качестве программоносителей используются перфоленты, магнитные ленты и диски, программируемые постоянные запоминающие устройства, входящие в состав микропроцессорных контроллеров.

Вся информация программы (размерная, технологическая, вспомогательная), необходимая для управления обработкой, представляется в табличной форме с помощью символов (цифр, букв, условных знаков), затем кодируется и заносится на программоноситель или непосредственно вносится в запоминающее устройство системы управления с помощью клавишей на пульте управления. Система ЧПУ преобразует эту информацию в управляющие команды для исполнительных механизмов станка и контролирует их выполнение. Сложные относительные движения рабочих органов станков достигаются не за счет кинематических связей, а за счет взаимного согласованного управления приводами перемещений по нескольким координатам по единой программе.

Благодаря увеличению числа одновременно управляемых координат в станках с ЧПУ расширяются технологические возможности станков.

Преимущества систем с ЧПУ:

1. Возможность быстрой переналадки станка за счет смены программы и инструментальной оснастки, настраиваемой вне станка.
2. Сокращение времени технологической подготовки производства.
3. Перенесение значительной части работ по подготовке нового производства в сферу инженерного труда.
4. Повышение производительности труда за счет совмещения операций, сокращения вспомогательного времени, оптимизации режимов резания.
5. Повышение точности обработки.
6. Возможность централизованной подготовки и размножения программ при использовании ЭВМ вплоть до передачи программ на значительные расстояния по каналам связи.
7. Возможность использования ЭВМ для хранения управляющих программ и непосредственного управления оборудованием.
8. Экономия средств на проектирование и изготовление специальной оснастки.

Благодаря указанным преимуществам, системы ЧПУ являются эффективным средством автоматизации мелкосерийного и среднесерийного производства.

Особенно эффективна обработка на станках с ЧПУ сложных деталей с большим количеством разнообразных поверхностей, в том числе фасонных, когда к ним предъявляются высокие требования по точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей (корпусные детали, матрицы, пуансоны и пр.).

Ниже приведены некоторые термины и понятия в области систем числового программного управления [6,9,13,14].

Позиционные системы ЧПУ – системы, в которых перемещение происходит в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются.

Контурные системы ЧПУ – системы, в которых перемещение происходит по заданной траектории с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки изделия.

Групповые ЧПУ – системы управления группой объектов от ЭВМ, имеющей общую память для хранения управляющих программ, распределяемых по запросам от объектов.

Программоноситель – носитель данных, на котором записана программа с использованием цифрового кода.

Программное обеспечение системы ЧПУ – совокупность программ и документации для реализации целей и задач систем ЧПУ.

Система ЧПУ – совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих числовое программное управление объектом.

Кадр управляющей программы – составная часть управляющей программы, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды.

Дискретность перемещения – минимальное перемещение, которое задается и контролируется в процессе управления.

Интерполяция – получение координат промежуточных точек траектории движения в плоскости или в пространстве.

Код – ряд правил, посредством которых выполняется преобразование данных из одного вида в другой. Применение кода (кодирование) сводится к записи информации в виде комбинации символов.

Интерфейс – совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих совместимость функциональных блоков, образующих измерительную, вычислительную или управляющую систему в соответствии с требуемыми условиями, например, видом кода, моментом выдачи (приема) информационных и управляющих сигналов, формой представления информации (аналоговая или цифровая).

5.2. Задачи, решаемые устройствами ЧПУ

Математическое обеспечение системы ЧПУ на прикладном уровне состоит из нескольких фундаментальных разделов, называемых задачами ЧПУ [13].

Задачи, решаемые устройствами ЧПУ, можно разделить:

- на геометрические,
- логические,
- технологические,
- диагностические,
- терминальные.

Геометрическая задача – получение изделия, соответствующего чертежу, управление приводами подачи станка с использованием алгоритмов интерполяции программных траекторий движения. Геометрическая задача (*motion control*) присутствует во всех без исключения системах ЧПУ. Она состоит из трех крупных модулей: интерпретатора управляющих программ, интерполятора, модуля управления следящими приводами.

Логическая задача – управление электроавтоматикой объекта, связанное с автоматизацией на станке вспомогательных или циклических операций (зажима - разжима, подвода - отвода, пуска – остановки, автоматической смены инструмента и т.д.).

Логическая задача реализуется двояко: программно в рамках системы ЧПУ или с помощью программируемого контроллера. Традиционный контроллер – это специализированный аппарат, оснащенный терминалом в виде персонального компьютера. При этом возрастание мощности и уровня сервиса персонального компьютера позволяет объединить терминал, программатор и собственно контроллер в рамках единой компьютерной архитектуры с дополнительным модулем ввода-вывода сигналов электроавтоматики.

Технологическая задача присутствует в тех случаях, когда основной рабочий процесс сам становится объектом управления (либо с целью его поддержания, либо с целью оптимизации).

Терминальная задача поддерживается устройством ЧПУ при применении компьютера. Диалог с оператором предполагает управление объектом в различных режимах работы по созданию и отладке программного обеспечения, информационный обмен с ЭВМ верхнего уровня. Наиболее важные разделы терминальной задачи: интерпретатор диалога оператора в *Windows*-интерфейсе, редактор управляющих программ в коде *ISO-7bit*, редактор-отладчик управляющих программ на языке высокого уровня.

Современные системы ЧПУ располагают определенными свободными ресурсами вычислительной мощности, которыми необходимо эффективно воспользоваться. Наиболее перспективный способ использования этих ресурсов состоит в создании и развитии подсистемы диагностики, которая в существующих системах представлена весьма слабо. Наиболее совершенные системы ЧПУ располагают отдельным режи-

мом диагностики, который реализован в виде программно-аппаратного комплекса и ориентирован на тестирование и глубокое исследование логической и геометрической задач управления.

5.3. Классификация систем ЧПУ

Устройства ЧПУ можно классифицировать по различным признакам. По принципу реализации алгоритма управления: с жесткой структурой, гибкой и смешанной.

По виду управления движениями или по технологическим признакам:

- позиционные, в которых система обеспечивает точную установку рабочих органов станка в рабочую позицию с заданными координатами (эти системы применяются на станках сверлильной и координатно-расточной групп);

- контурные, в которых обеспечивается перемещение рабочих органов с заданной программой скоростью по заданной траектории (эти системы применяют для фрезерных, токарных и других станков при обработке деталей со сложной конфигурацией и криволинейными поверхностями);

- контурно-позиционные (универсальные), объединяющие функции позиционных и контурных систем, которые предназначены для многоцелевых станков (обрабатывающих центров), позволяющих проводить позиционно-контурную обработку поверхностей.

Системы ЧПУ по степени совершенства, функциональным возможностям и в соответствии с международной классификацией можно разделить на следующие основные классы:

- 1 - системы числового управления Numerical Control (NC-типа),
- 2 - системы Stored Numerical Control (SNC-типа),
- 3 - системы Computer Numerical Control (CNC-типа),
- 4 - системы Direct Numerical Control (DNC-типа),
- 5 - системы Handled Numerical Control (HNC-типа),
- 6 - системы Personal Computer Numerical Control (PCNC).

Системы первого и второго типов в основном работают по программам, которые записываются на перфоленты в коде ISO-7 bit. Внешним признаком является способ считывания и отработки программы. В системах NC-типа принято покадровое чтение перфоленты, а системы SNC отличаются от первых увеличенным объемом па-

мента, что позволяет прочитать все кадры программы и поместить информацию в запоминающем устройстве. Перфолента читается только один раз перед обработкой деталей и поэтому мало изнашивается.

Системы DNC-типа предназначены для управления группой станков и другим оборудованием технологического участка, транспортной системой, промышленными роботами от управляющей ЭВМ верхнего уровня. Такие системы строятся с использованием принципов централизованного и децентрализованного управления, а также с использованием локальных сетей.

Централизованная структура характеризуется параллельной передачей информации от одной центральной ЭВМ к отдельным элементам устройства управления. Такие системы обладают большой скоростью передачи информации, но в связи с тем, что сигналы управления подвержены затуханию и влиянию помех централизованные системы имеют ограниченную длину линий связи, выход из строя центральной ЭВМ приводит к остановке всех элементов объекта управления.

Более перспективно использование децентрализованных систем управления иерархического типа. В такой структуре отдельные элементы объекта управления имеют в своем составе системы CNC-типа, функции управления рассредоточены между ЭВМ верхнего уровня и ЭВМ нижнего уровня. В последних решается задача непосредственного управления объектом, а на верхнем уровне производится подготовка и хранение управляющих программ, оптимизация работы локальных подсистем. В такой структуре легче организовать взаимодействие локальных подсистем, связанных через верхний уровень, может быть обеспечена более высокая живучесть за счет возможности автономной работы отдельных подсистем объекта управления.

Системы HNC - типа позволяют осуществлять ручной ввод программ в память микроЭВМ с пульта устройства ЧПУ. Современные системы этого класса строятся на базе систем CNC - типа с повышенным объемом памяти встроенной микроЭВМ. Подобные устройства позволяют вести программирование с пульта УЧПУ в режиме диалога и при использовании архива стандартных подпрограмм. Эти подпрограммы по команде с пульта вызываются на экран дисплея, на экране отображается как графика (схема обработки), так и текст (перечень необходимых данных). В общем случае такие системы позволяют вести подготовку управляющих программ непосредственно у станка по чертежу детали.

Дальнейшим развитием ЧПУ является так называемая система ЧПУ, базирующаяся на стандартном промышленном ПК. При этом интерфейс пользователя и ядро ЧПУ реализованы программно, а контроллер ПЛК и интерфейсы подключения периферии и приводов расположены на единой слот-плате.

5.4. Решение траекторных задач в компьютерных системах управления

Задачи движения по заданным в пространстве траекториям решаются с использованием современной вычислительной техники, причём используются как простые автономные специализированные системы циклового и позиционного типов, так и сложные мультипроцессорные контурные системы [6].

Цикловые системы

Характерной особенностью цикловых систем управления является программирование исключительно логической и технологической информации дискретного вида, определяющей последовательность движения звеньев манипулятора, длительность позиционирования и т.д. Информация о величинах перемещений задаётся, как правило, при помощи регулируемых упоров, концевых датчиков положения и перестраиваемых таймерах, подающих в систему управления сигнал о достижении исполнительным органом заданного перемещения. Система управления последовательно формирует управляющие команды на включение/выключение исполнительных механизмов по заданной циклограмме работы устройства. В качестве одного из вариантов описания команд управления может быть использован линейчатый граф, вершины которого являются осведомительными сигналами системы, а дуги нагружены командами управления. Пример графа управления двухкоординатным механизмом приведён на рис. 5.1.

Движение начинается из начального положения, определяемого датчиками a_0, b_0 , и выполняется по координате X до срабатывания датчика a_1 . После этого привод X останавливается, включается привод Y и осуществляется перемещение в положительном направлении до сигнала с датчика b_3 , затем снова включается X до a_4 . Следующее движение производится в обратном направлении в течение выдержки времени t_2 и т.д.

Граф может описывать и одновременное включение нескольких приводов, при этом из одной вершины будет выходить нужное

число дуг, каждая из которых имеет собственную вершину. Дуга, не нагруженная командой, определяет выстой системы и указанную выдержку времени.

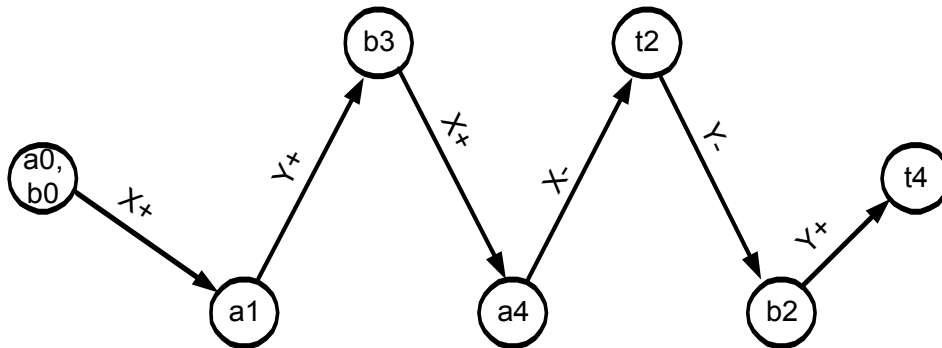


Рис. 5.1. Линейчатый граф описания управления цикловой системой: X_+, X_-, Y_+, Y_- – команды включения движения по координатам; a_0, a_1, \dots, a_n – осведомительные сигналы координаты X ; b_0, b_1, \dots, b_m – осведомительные сигналы координаты Y ; t_1, t_2, \dots, t_k – выдержки времени

Позиционные системы

Системы позиционного управления обеспечивают перемещение исполнительных органов управляемых механизмов по заданной траектории от точки к точке. Число точек может быть достаточно большим, но характер движения между опорными точками траектории не программируется. Задача управления состоит в обеспечении минимального времени перемещения из одной позиции в другую при высокой точности останова. Так как технологические команды выполняются после позиционирования, то допускается перебег через заданную координату с последующим возвратом. Скорость движения V управляемой координаты изменяется в функции расстояния δ до заданной точки позиционирования тремя способами:

- ступенчатым снижением скорости по предварительно подаваемым командам;
- ступенчатым снижением скорости с одновременным реверсом привода всякий раз по достижении заданной координаты;
- плавным уменьшением скорости по мере приближения к заданной координате.

Минимальное время движения может быть получено, если большая часть пути будет пройдена на максимальной скорости пере-

мещения привода, а в зоне торможения будет обеспечен оптимальный закон снижения скорости в функции величины рассогласования. При этом достаточно задать только несколько промежуточных точек кривой оптимального торможения (рис. 5.2).

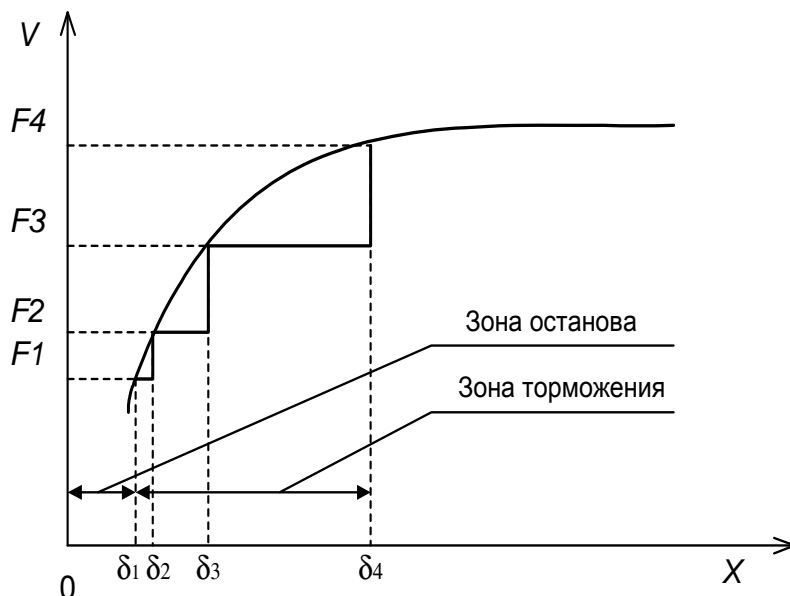


Рис. 5.2. Снижение скорости в зоне торможения

Ступени торможения выбираются такими, что при заданном темпе торможения изменение скорости от значения на предыдущей ступени при рассогласовании δ до её значения на последующей ступени происходит на пути $\delta_4 - \delta_3$ и т.д. Значение скорости F_1 выбирается таким, что сброс её до нулевого значения в точке δ_1 не вызывает неуправляемых перемещений больших, чем зона останова. Для задания режима движения и позиционирования используют подготовительные коды $G60...G69$. Графики движения при позиционировании приведены на рис. 5.3.

Зона останова при этом составляет:

- | | |
|---------------------|---|
| код $G60, G61$ | — $+\delta_{1p}, \delta_{1p}$; |
| код $G62$ | — $+\delta_{1p}, \delta_{4p}$; |
| код $G63$ | — $+\delta_{4p}, \delta_{1p}$; |
| код $G64$ | — $\pm \delta_i$ при $F_{i-1} \leq F_0 < F_i$, где $i=1,2,3,4$; |
| код $G65, G66$ | — $+\delta_{1p}, \delta_{1p}$; |
| код $G67, G68, G69$ | — $\pm \delta_i$ при $F_{i-1} \leq F_0 < F_i$, где $i=1,2,3,4$. |

Перемещение по осям координат программируется в абсолютной системе отсчёта. Все программируемые размеры должны быть определены относительно базовой точки, которая выбирается в пределах детали или вне её.

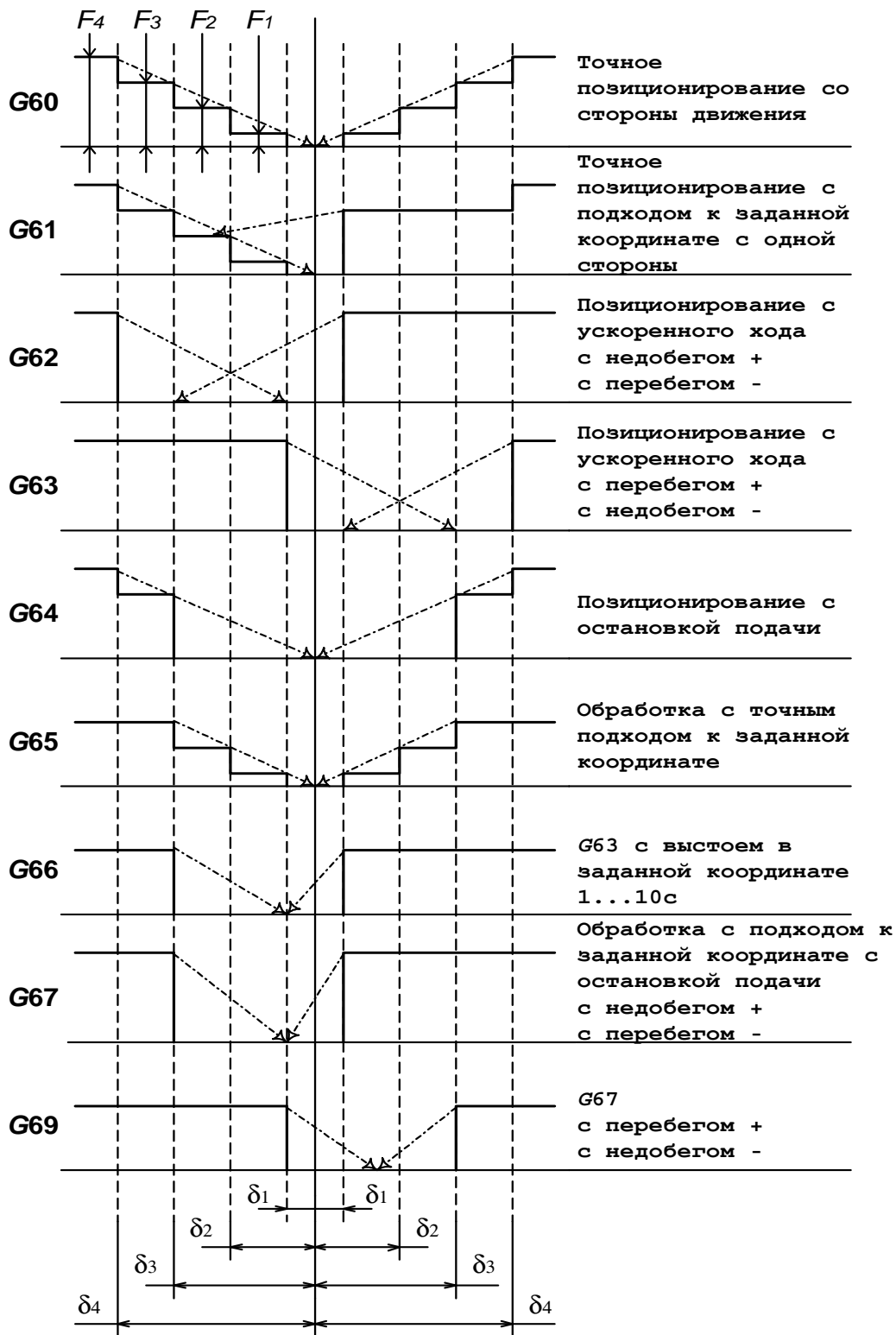


Рис. 5.3. Графики движения в различных режимах позиционирования

Контурные системы

Системы контурного управления обеспечивают решение практически любой задачи формообразования, формируя в пространстве заданную непрерывную траекторию движения рабочего органа исполнительного механизма. Задача управления разделяется на три составные части:

- движение по заданной траектории (интерполяция);
- ввод коррекции в расчёт эквидистанты;
- поддержание постоянной контурной скорости.

Наиболее распространённым методом воспроизведения траекторий считается метод оценочной функции (рассмотрен ниже). Используются также методы цифровых дифференциальных анализаторов, «цифра за цифрой» и таблично-алгоритмический.

Метод оценочной функции

При использовании алгоритмов, основанных на методе оценочной функции, моделируется алгебраическое уравнение воспроизводимой кривой. Сущность метода состоит в том, что в результате шага по управляемой координате вычисляется вспомогательная функция F , знак которой определяет направление следующего шага, причём перемещение, возникающее в результате этого шага, приближает обрабатываемую траекторию к идеальной кривой.

Рассмотрим прямую, проходящую через начало координат и определяемую уравнением $Ax + By = 0$. Точка 1 (рис. 5.4) с координатами x_0, y_0 находится на этой прямой. Если перейти в точку 2 с координатами $(x_0 + 1), y_0$, то отклонение от прямой составит $F_x = A(x_0 + 1) + By = A$. Если определить область под прямой как $F < 0$, а над прямой как $F > 0$, то перемещение в точку 2 сделает функцию F отрицательной.

При переходе из точки 2 в точку 3 с координатами $(x_0 + 1), (y_0 + 1)$ получим отклонение $F_x + F_y = A(x_0 + 1) + B(y_0 + 1) = A + B$. Если принять $F_x = -A$, а $F_y = B$, то получим

$$F = nF_x + mF_y = -nA + mB,$$

где m и n – число шагов соответственно по осям X и Y .

Вместо A и B можно подставить координаты x_k и y_k точки k , тогда получим

$$F = -ny_k + mx_k.$$

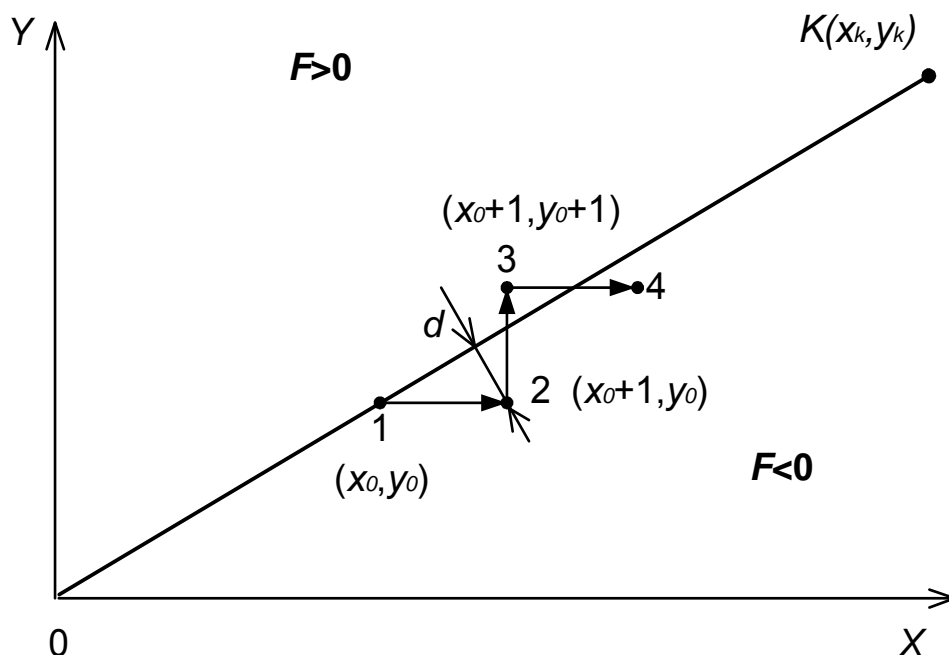


Рис. 5.4. Интерполяция прямой по методу оценочной функции

Перемещение по ломаной, аппроксимирующей прямую, осуществляется при многократном использовании этой формулы. Если $F < 0$, то даётся шаг по оси Y , если $F \geq 0$, то по оси X ; при этом оценочные функции определяются как $F = F + x_k$ и $F = F - y_k$ соответственно.

Погрешность интерполяции будет оцениваться расстоянием по нормали от текущего значения координат до идеальной прямой $d = F / \sqrt{A^2 + B^2}$ в том случае, если $\alpha = 45^\circ$, $d = 1/\sqrt{2}$, т.е. не превышает одной дискреты h .

При интерполяции окружности оценочная функция делит плоскость на две области: внутри окружности ($F < 0$) и вне её ($F > 0$). В общем случае, если координата Y убывает, а X возрастает, функция F выражается формулой

$$F = \sum_{i=0}^{(x_k-x_0)/h} (2x_i + 1) + \sum_{j=0}^{(y_k-y_0)/h} (-2y_j + 1),$$

где $x_i = x_0 - i$; $y_j = y_0 - j$; i и j – число шагов по осям.

Отклонение точки 2 от дуги окружности определится как расстояние от точки 2 до точки k (нормаль к касательной в точке k) (рис. 5.5). В худшем случае, если $x_0 = 0$, $y_0 = R$ и обход ведётся против часовой стрелки, начиная с шага по оси Y , то отклонение составит одну дискрету.

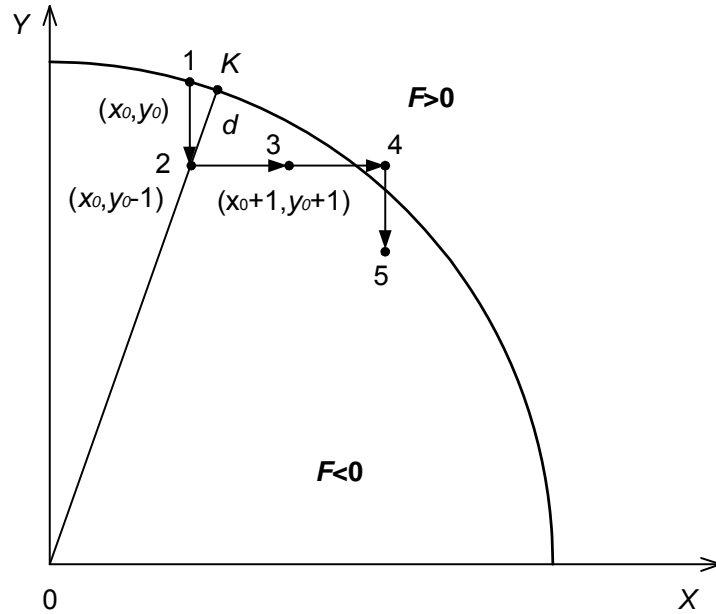


Рис. 5.5. Интерполяция дуги окружности по методу оценочной функции

Погрешность интерполяции может быть уменьшена примерно вдвое, если использовать модифицированные методы. Так, возможно проведение интерполяции прямой, параллельной заданной, смещённой на половину дискреты по оси X . Начальное значение оценочной функции при этом $F_0 = (x_k - y_k / 2)$.

При интерполяции по методу модифицированной оценочной функции шаг производится либо по оси X , либо по осям X и Y одновременно (шаг по диагонали). При этом направление шага соответствует меньшей величине погрешности.

Необходимость предварительного подсчёта значений оценочных функций в результате шага в том или ином направлении и сравнение их абсолютных величин значительно усложняют вычисления. Поэтому целесообразно ввести модифицированную оценочную функцию U , знак которой определял бы направление очередного шага с начальным значением $U_0 = (x_k - y_k) / 2$. Текущее значение такой функции при шаге по оси X и шаге по диагонали вычисляется соответственно по формулам

$$U = U' - y_k; U = U' - y_k + x_k,$$

где U' – значение функции на предыдущем шаге.

Пример отработки прямой без использования модифицированной оценочной функции и с её помощью приведён на рис. 5.6. Для данного примера погрешность отработки составляет в первом случае приблизительно 0,7 единиц дискретности, а во втором – около 0,4 единиц дискретности.

Использование метода оценочной функции позволяет обрабатывать не только прямые и окружности, но и кривые второго порядка, а также вычислять некоторые тригонометрические и другие элементарные функции.

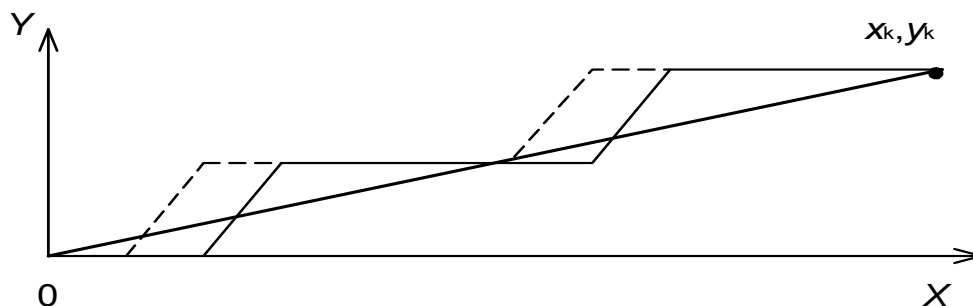


Рис. 5.6. Отработка прямой с использованием модифицированной оценочной функции

5.5. Концепции разработок и стратегия развития средств ЧПУ

Одну из наиболее продуманных стратегий разработки и выпуска средств автоматизации производства осуществляет фирма Сименс, решая задачи комплексного совершенствования своей продукции [15]. Одна из концепций этой стратегии – разработка систем ЧПУ – неразрывно связана с совершенствованием регулируемого электропривода, придания ему новых качеств за счет цифрового управления.

Учитывая спрос разнообразных потребителей, спрос на самые простые маленькие станки, которые выгодно использовать небольшим фирмам, предлагается семейство ЧПУ для простых станков (2 оси + шпиндель для токарных и 3 оси + шпиндель для фрезерных станков). В качестве приводов могут быть использованы как шаговые двигатели (ЧПУ SINUMERIK 802S), так и сервопривода с аналоговым интерфейсом (ЧПУ SINUMERIK 802C). Использование ЧПУ в данном случае, с одной стороны, позволяет поддерживать постоянный уровень качества и избавляет от проблемы поиска высококвалифицированных специалистов. Другая возможность при наличии высококвалифицированных специалистов связана с использованием специальных пультов управления, позволяющих осуществлять обработку в режиме ручного управления с помощью штурвалов. Наличие специального программного обес-

печения при этом позволяет обеспечить одновременное формирование управляющей программы и использование ее в дальнейшей работе.

Для более сложных станков фирма Сименс предлагает СЧПУ SINUMERIK 810D с процессорами CCU1, CCU2 и SINUMERIK 840D с процессорами NCU571, NCU 572. Эти системы позволяют осуществлять управление от 6 до 12 осей и имеют в своем составе функции, позволяющие управлять не только токарной или фрезерной обработкой, но и такими технологиями, как шлифование, лазерная резка, вырубка и управление роботами. Эти системы работают совместно с цифровым приводом SIMODRIVE 611D, что позволяет достичь точности и динамики, превосходящих соответствующие показатели традиционного аналогового привода.

Отдельной линией проходит система ЧПУ SINUMERIK 840Di. Это так называемая система ЧПУ, базирующаяся на стандартном промышленном ПК. При этом интерфейс пользователя и ядро ЧПУ реализованы программно, а контроллер ПЛК и интерфейсы подключения периферии и приводов расположены на единой слот-плате. В качестве привода используется тот же универсальный привод SIMODRIVE 611U, что и для SINUMERIK 802D.

Тенденции широкого использования промышленных компьютеров в СЧПУ позволили в некотором смысле отечественным производителям преодолеть существенное отставание в производстве современных систем числового программного управления [15]. Одной из таких разработок является система числового программного управления серий FMS-3000 и FMS-3100 (рис.5. 7).

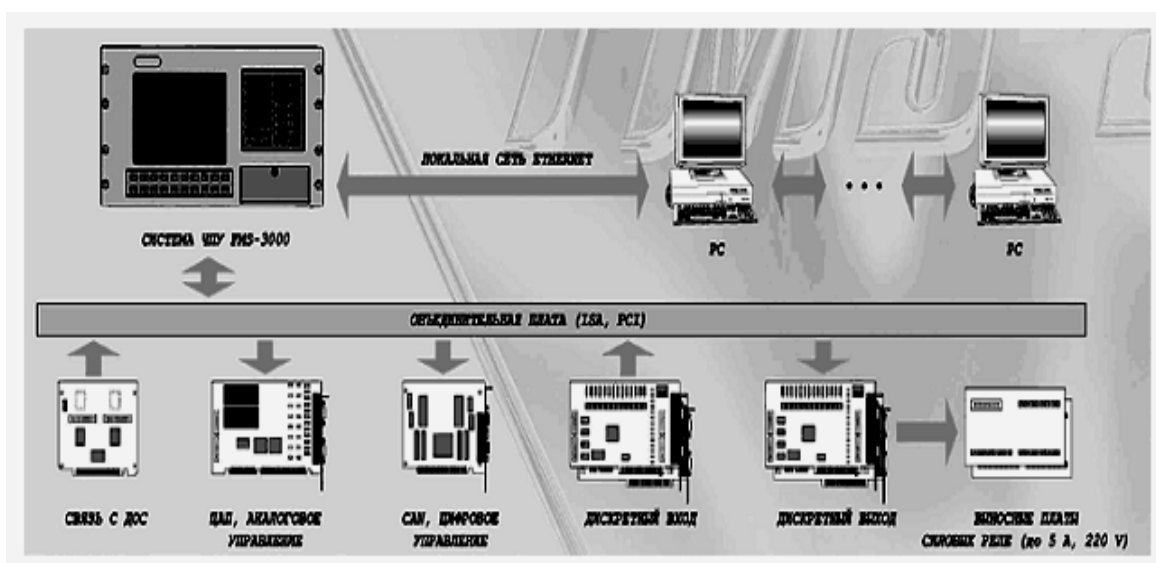


Рис. 5.7. Система числового программного управления на базе ПК

FMS-3000 и FMS-3100 предназначены для установки на различные типы технологического оборудования.

FMS-3000: фрезерные станки; расточные станки; копировальные станки; обрабатывающие центры; машины термической резки; другое оборудование с ЧПУ.

FMS-3100: намоточные станки; токарные станки; токарно-карусельные станки; другое оборудование с ЧПУ.

Адаптация к конкретному типу станка осуществляется с помощью программы электроавтоматики и разветвленной системы параметров FMS-3000, FMS-3100.

Основа FMS-3000 – персональный компьютер промышленного исполнения (ПК). Открытая архитектура ПК позволяют легко интегрировать в ее состав компьютерные компоненты ведущих производителей вычислительной техники.

К числу стандартных компонентов промышленных компьютеров относятся платы: цифрового ввода/вывода, платы АЦП и ЦАП, программируемых счетчиков, релейных выходов и изолированных входов, интерфейса CAN, плата интерфейсов, панели для установки твердотельных реле и модулей ввода/вывода, модули преобразователя RS-232 в RS-485, модуль подключения RS-232 к оптоволоконному кабелю и т. д. Доминирующие позиции открытых систем ЧПУ, построенных на базе персонального компьютера (PCNC – Personal Computer Numerical Control), для условий промышленного производства заняли фирмы Advantech, Octagon Systems.

Система WinPCNC является однокомпьютерной системой ЧПУ, построенной на мощной платформе персонального компьютера с операционной системой Windows NT и расширением реального времени RTX 4.1 фирмы VentureCom. Она относится к классу PCNC (Personal Computer Numerical Control), т. е. к классу так называемых «персональных систем управления», который является сегодня наиболее перспективным классом систем ЧПУ нового поколения.

Система использует единственный процессор для обслуживания всех ее функций, включая функции электроавтоматики. Аппаратная часть представлена стандартной аппаратурой персонального компьютера и дополнительными интерфейсными модулями для связи со следящими приводами подачи и главного движения, платами электроавтоматики, панелью оператора.

Общий вид системы ЧПУ WinPCNC показан на рис. 5.8.

Система ЧПУ состоит из двух независимых блоков, системного блока (на рисунке снизу) и панели оператора.

Системный блок размещен в корпусе промышленного компьютера, который гарантирует защиту от производственных помех. Блок панели оператора должен быть встроен в свой корпус и конструктивно оформлен так, как это удобно потребителю. Системный блок представляет собой базовый набор плат на шине ISA или PCI. Существует также возмож-



Рис. 5.8. Общий вид ЧПУ WinPCNC

ность установки дополнительных плат, например, для увеличения числа управляемых координат, увеличения общего числа параллельных входов-выходов электроавтоматики, для установки сетевых интерфейсных плат типа Fieldbus с целью управления приводами и электроавтоматикой. Дополнительные платы определяют опции системы ЧПУ, которые зависят от конкретного заказа.

Основной особенностью системы WinPCNC на прикладном уровне является ее открытая архитектура, которая предоставляет производителям технологического оборудования и конечным пользователям широкие возможности по адаптации системы к собственным требованиям. Эти возможности поддержаны средствами конфигурации, а также дополнительными инструментальными системами. Так, интерфейс оператора открыт для включения любых приложений конечного пользователя, разработанных в среде Windows. При этом конечным пользователям предоставлен широкий открытый набор интерфейсных функций API (Application Programming Interface). Интерфейс оператора (его внешний вид, набор режимов, страниц и меню) может быть в кратчайший срок существенно перепроектирован с помощью специальной инструментальной системы State_Machine_Builder. Система ЧПУ может быть настроена на любую версию языка управляющих

программ в коде ISO-7bit (DIN 66025). Настроенная версия поддерживается редактором управляющих программ и гибким интерпретатором управляющих программ (ISO-процессором). Интерпретатор может быть настроен на любое (разумное) число буферируемых кадров. Редактор располагает системой графического моделирования управляющей программы на входе системы и на выходе интерпретатора, т. е. с учетом эквидистант. Интерполятор системы имеет гибкую собственную архитектуру и фиксированный входной интерфейс IPD (Interpolator Data); он открыт для включения любых специальных алгоритмов интерполяции. В процессе управления может быть использована любая комбинация имеющихся алгоритмов. Гибкая система электроавтоматики построена на основе концепции SoftPLC, т.е. на основе программной реализации контроллера в составе прикладной компоненты системы ЧПУ. Взаимодействие всех модулей системы ЧПУ осуществляется через многофункциональную программную шину, которая служит глобальным сервером системы. Подобная организация допускает масштабирование системы.

Технические характеристики системы WinPCNC

Тип компьютера и операционная система: промышленное исполнение; процессорный модуль Pentium-III, 750 МГц, ОЗУ – 512 Мбайт, HDD – 20 Гбайт, FDD, CDROM. Экран монитора – TFT. Операционная система Windows NT+RTX.

Режимы работы: автоматический, ручного управления; редактирования, отладки и моделирования управляющих программ; системной настройки.

Управляющая программа и стандартные циклы – в версии заказчика.

Число управляемых и интерполируемых координат – до восьми. Интерполируемая скорость – до 10 м/мин. Цена дискретности для тонкой интерполяции – 1 мкм.

Виды интерполяции: линейная, круговая, сплайновая. Сплайновую интерполяцию можно программировать непосредственно в кадре управляющей программы.

Автоматические разгоны и торможения.

Управление приводами: +/- 10 В. Тип позиционного датчика обратной связи – импульсный. Возможно ручное управление с помощью маховичка ручного перемещения.

Электроавтоматика – типа SoftPLC. Связь с приводами электроавтоматики – через параллельный порт или по шине CANBus. Число входов/выходов – по заказу.

Подобной системой оснащен технологический CO₂ - лазер МКТЛ-1500. Система управления технологического поста автоматизированного комплекса для поверхностного термоупрочнения деталей предназначена для ручного и программного режима управления пятикоординатным рабочим столом с манипулятором луча, а также имеет возможность управлять дополнительными сменными приспособлениями, имеющими до трех осей. При этом одна дополнительная ось позволяет осуществлять перемещения синхронно со всеми пятью основными осями, а две другие дополнительные оси исключают синхронное движение с осями *X* и *Y*. Все оси оснащены шаговыми двигателями.

Система управления может использоваться как в автономном режиме, так и быть подключенной к локальной вычислительной сети с транспортным протоколом Ethernet и скоростью передачи данных 10 или 100 Мбит/с, имеет встроенный язык программирования, разработанный по стандарту ISO 6983-1.

Глава 6. СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ

6.1. Основные этапы развития интеллектуальных систем и предпосылки их использования в промышленности

В последние десятилетия основная тенденция в развитии промышленного производства заключалась в разработке систем комплексной автоматизации, постепенном переходе к интегрированным научно-производственным комплексам, базирующимся на широком применении гибких средств автоматизации и вычислительной техники на протяжении всего производственного цикла – от научных исследований до выпуска готовой продукции. При этом автоматизация собственно производства заключается в создании робототехнологических комплексов и на их основе – гибких автоматических производств. В рамках гибкого автоматизированного производства все робототехнические комплексы и обслуживающие их системы управляются от сети ЭВМ. Это придает им необходимую гибкость по отношению к возможным изменениям но-

менклатуры или типоразмеров выпускаемой продукции. Бурное развитие в последние годы информационных технологий позволило осуществить более тесную интеграцию систем автоматизированного производства, робототехнических комплексов и электронно-вычислительных систем. В первую очередь это связано с бурным развитием систем искусственного интеллекта. Включение в производственную цепочку элементов искусственного интеллекта (ИИ) позволяет добиться максимальной автономности производственного комплекса и ввести в автоматизированную систему новый уровень управления.

В 1950 году британский математик Алан Тьюринг опубликовал в журнале «Mind» свою работу «Вычислительная машина и интеллект», в которой описал тест для проверки программы на интеллектуальность. Он предложил поместить исследователя и программу в разные комнаты и до тех пор, пока исследователь не определит, кто за стеной - человек или программа, считать поведение программы разумным. Это было одно из первых определений интеллектуальности, то есть А. Тьюринг предложил называть интеллектуальным такое поведение программы, которое будет моделировать разумное поведение человека. В настоящее время существует множество определений интеллектуальных систем и искусственного интеллекта. Сам термин «искусственный интеллект» (AI - Artificial Intelligence) был предложен в 1956 году на семинаре в Дартмутском колледже (США). Ниже приведены некоторые из этих определений. Так Д. Люгер в своей книге [2] определяет искусственный интеллект как область компьютерных наук, занимающуюся исследованием и автоматизацией разумного поведения.

В учебнике по искусственному интеллекту [10] дается такое определение: «Искусственный интеллект - это одно из направлений информатики, целью которого является разработка аппаратно-программных средств, позволяющих пользователю-непрограммисту ставить и решать свои, традиционно считающиеся интеллектуальными задачи, общаясь с ЭВМ на ограниченном подмножестве естественного языка».

В любом случае предметом искусственного интеллекта является изучение интеллектуальной деятельности человека, подчиняющейся заранее неизвестным законам. Искусственный интеллект – это все то,

что не может быть обработано с помощью алгоритмических методов. Таким образом, в цепочку «система автоматизированного производства – робототехнический комплекс – электронно-вычислительная система» добавляется новое звено – система искусственного интеллекта. Но в отличие от традиционного метода управления автоматизированным производством посредством электронно-вычислительного комплекса, который обрабатывает информацию по известным заранее законам и алгоритмам, ввод в эту цепочку системы искусственного интеллекта есть не что иное, как попытка сделать автоматизированную производственную систему как можно более автономной и адаптируемой. При этом под системой здесь понимается множество элементов, находящихся в отношениях друг с другом и образующих причинно-следственную связь, а под адаптивной системой – такая система, которая сохраняет работоспособность при непредвиденных изменениях свойств управляемого объекта, целей управления или окружающей среды путем смены алгоритма функционирования, программы поведения или поиска оптимальных, в некоторых случаях просто эффективных решений и состояний. Традиционно по способу адаптации различают самонастраивающиеся, самообучающиеся и самоорганизующиеся системы.

Таким образом, под интеллектуальной системой понимается адаптивная система, позволяющая выполнять программы целесообразной деятельности по решению поставленных перед ней задач на основании конкретной ситуации, складывающейся на данный момент в окружающей их среде. Очевидно, что применение таких систем при автоматизированном производстве приборов и устройств наиболее целесообразно как с технологической точки зрения, так и с экономической. К области решаемых интеллектуальными системами задач относятся задачи, обладающие, как правило, следующими особенностями:

1. В этих задачах неизвестен алгоритм их решения (такие задачи называют интеллектуальными).
2. В этих задачах используется помимо традиционных данных в числовом формате информация в виде изображений, рисунков, знаков, букв, слов, звуков.
3. В таких задачах предполагается наличие выбора.

Так как для решения интеллектуальных задач не существует алгоритма, то предполагается сделать выбор между многими вариантами в условиях неопределённости. Таким образом, очевидно, что свобода выбора – существенный признак интеллектуальных задач.

Интеллектуальные производственные технологические системы содержат переменную, настраиваемую модель внешнего мира и реальной исполнительной системы с объектом управления. Цель и управляющие воздействия формируются в таких системах на основе знаний о внешней среде, объекте управления и на основе моделирования ситуаций в реальной системе.

6.2. Признаки интеллекта производственных систем

Когда идёт речь об интеллектуальной системе, то в первую очередь задаётся вопрос о том, какие признаки интеллекта должны характеризовать такую систему. Очевидно, что интеллектуальная система должна уметь в наборе фактов распознать наиболее существенные, а также быть способной из имеющихся фактов и знаний сделать выводы не только с использованием дедукции, но и с помощью аналогии, индукции и т.д. Кроме того, интеллектуальная система должна обладать умением давать самооценку, т.е. обладать рефлексией – средствами для оценки результатов собственной работы. Интеллектуальная система при помощи неких подсистем должна также уметь отвечать на вопросы о том, каким образом получен тот или иной результат. Обязательным условием для функционирования интеллектуальной системы является её способность обобщать данные, обнаруживать сходство между имеющимися в её распоряжении фактами.

Центральным понятием в интеллектуальной системе является знание. Существует множество определений знания. Например, знание есть результат, полученный познанием окружающего мира и его объектов, или система суждений с принципиальной и единой организацией, основанная на объективной закономерности. Для промышленности самым точным будет понятие знания как совокупности фактов и правил. Фрагмент знания представляет некое

правило, которое в общем случае имеет вид *если <условие> то <действие>*.

На рис. 6.1 показан процесс логического вывода формализованной информации, которую используют в процессе вывода. Также важным представляется деление знаний на статические и динамические. Под статическими обычно понимают такие знания, которые были внедрены в интеллектуальную систему на этапе её проектирования. Соответственно динамические знания интеллектуальная система получает в процессе функционирования в масштабе реального времени.

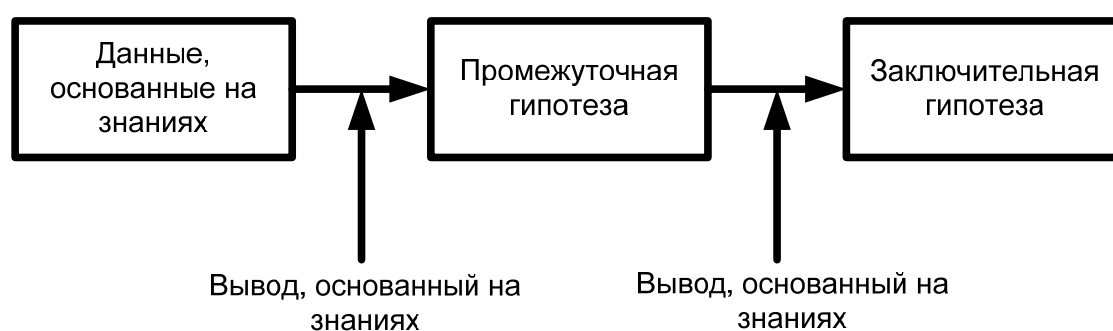


Рис. 6.1. Процесс логического вывода в интеллектуальной системе

В свою очередь, знания можно разделить на факты и правила. Под фактами подразумеваются знания типа «А это А», они характерны для баз данных. Под правилами (их ещё называют продукциями) понимаются знания вида «ЕСЛИ-ТО». Кроме этих знаний существуют так называемые метазнания, т.е. знания о знаниях. Создание продукционных систем для представления знаний позволило разделить знания и управление в компьютерной программе, обеспечить модульность продукционных правил, т.е. отсутствие синтаксического взаимодействия между правилами. При создании моделей представления знаний следует учитывать такие факторы, как однородность представления и простота понимания. Выполнить это требование в равной степени для простых и сложных задач довольно сложно.

На рис. 6.2 представлена простейшая структурная схема управления интеллектуальным робототехническим модулем [2].

На рисунке стрелками обозначено направление движения информации, двунаправленными стрелками обозначено взаимодействие типа «запрос-ответ» и «действие-подтверждение».

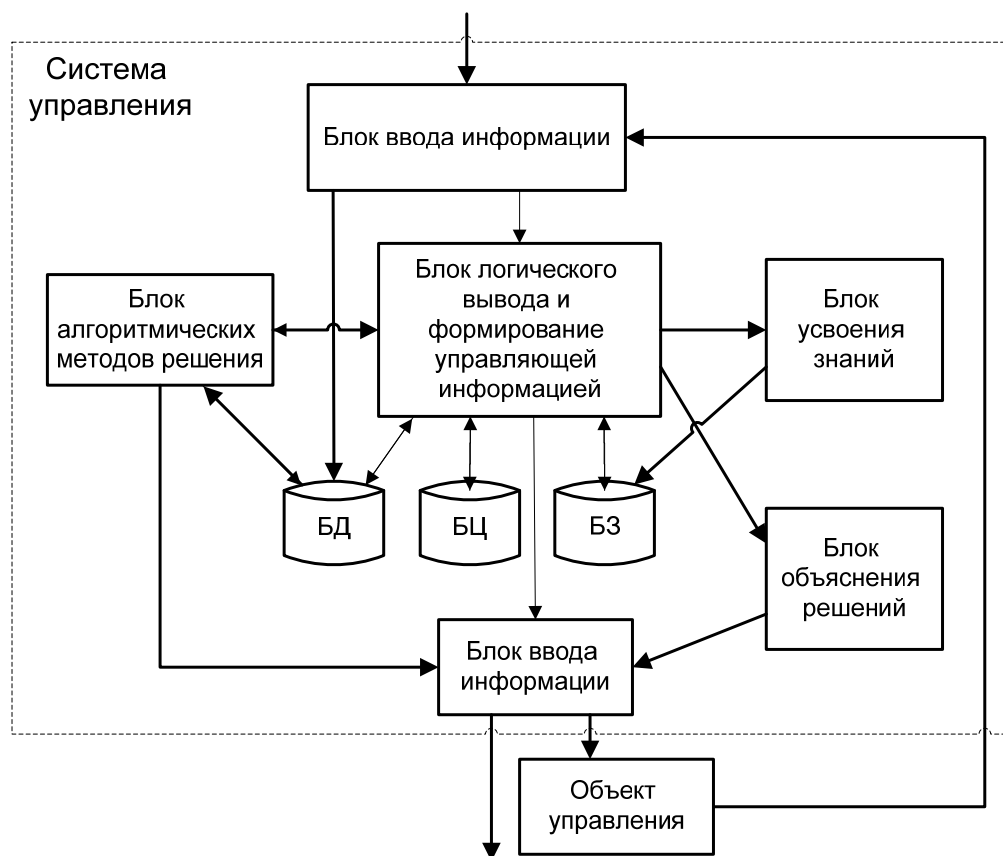


Рис. 6.2. Структурная схема управления интеллектуальным робототехническим модулем: БД – база данных; БЦ – блок целей; БЗ – база знаний

Входом системы служит блок ввода информации, предназначенный для ввода числовых данных, текста, речи, распознавания изображений. Информация на вход системы может поступать (в зависимости от решаемой задачи) от пользователя, внешней среды, объекта управления. Далее входная информация поступает в блок логического вывода либо сразу в базу данных - совокупность таблиц, хранящих, как правило, символьную и числовую информацию об объектах предметной области. Блок логического вывода и формирования управляющей информации обеспечивает нахождение решений для нечетко формализованных задач интеллектуальной системы, осуществляет планирование действий и формирование управляющей информации для пользователя или объекта управления на основе базы

знаний, базы данных, базы целей и блока алгоритмических методов решений. Под базой знаний обычно понимается совокупность знаний, например, система продукционных правил о закономерностях предметной области или информация о режимах резания при механической обработке заготовок. Блок целей - это множество локальных целей системы, представляющих собой совокупность знаний, активизированных в конкретный момент и в конкретной ситуации для достижения глобальной цели. Блок алгоритмических методов решений содержит программные модули решения задач предметной области по жестким алгоритмам. Блок усвоения знаний осуществляет анализ динамических знаний с целью их усвоения и сохранения в базе знаний. Блок объяснения решений интерпретирует пользователю последовательность логического вывода, примененную для достижения текущего результата. На выходе системы блок вывода информации обеспечивает вывод данных, текста, речи, изображений и другие результаты логического вывода пользователю или объекту управления. Контур обратной связи позволяет реализовать свойства адаптивности и обучения интеллектуальной системы. На этапе проектирования эксперты и инженеры по знаниям наполняют базу знаний и базу целей, а программисты разрабатывают программы алгоритмических методов решений. База данных создается и пополняется, как правило, в процессе эксплуатации интеллектуальной системы.

Динамика работы представленной выше системы может быть описана следующим образом. При поступлении информации на внешнем языке системы на входе блока ввода информации производится ее интерпретация во внутреннее представление для работы с символьной моделью системы. Блок логического вывода выбирает из базы знаний множество правил, активизированных поступившей входной информацией, и помещает эти правила в банк целей как текущие цели системы. Далее блок логического вывода по заданной стратегии, например стратегии максимальной достоверности, выбирает правило из базы целей и пытается доопределить переменные модели внешнего мира и исполнительной системы с объектом управления. На основе этого активизируются новые правила базы знаний и начинается логический вывод в системе продукций (правил). Эта процедура заканчивается, как только решение будет найдено либо когда будет исчерпан банк целей. Найденное решение из внутреннего представления ин-

терпретируется блоком вывода информации во внешний язык подсистемы управления низшего уровня и объекта управления.

Работы по созданию промышленных роботизированных систем ведутся уже не одно десятилетие, но именно бурное развитие исследований в области искусственного интеллекта позволило этой отрасли промышленности бурно развиваться в последнее время. Однако прежде чем инженерам удалось соединить различные по своей сути системы в единое целое, учёным предстояло решить множество проблем, лежащих как в области робототехники, так и в сфере искусственного интеллекта. Интеллектуальные роботы (иногда говорят «интеллектуальные» или роботы с искусственным интеллектом) явились развитием простейших программируемых промышленных роботов, которые появились в 60-х годах. Тогда же были заложены основы современных и будущих интеллектуальных роботов в исследованиях, связанных с координацией программирования роботов-манипуляторов и технического зрения на основе телевизионной камеры, планирования поведения мобильных роботов, общения с роботом на естественном языке.

Типичный интеллектуальный робот состоит из одной или двух рук (манипуляторов) и одной или двух телевизионных камер, размещенных на неподвижной тумбе либо на перемещающейся тележке. На рис. 6.3 показана обобщенная структура информационной системы интеллектуального робота.



Рис. 6.3. Структура информационной системы интеллектуального робота

Надо иметь в виду, что на подсистему восприятия поступает большой объём разнотипной информации от датчиков различных типов: зрительных, слуховых, тактильных, температурных, лазерных или ультразвуковых дальномеров и т.д. При этом под синтаксисом в данной схеме понимается структура в пространстве и во времени этой разнотипной информации, а под семантикой - результат ее восприятия как множества возможных типовых ситуаций или образов, требующих какой-либо дальнейшей обработки. Под миром понимается описание окружения робота как результат работы его подсистемы восприятия. Под действием понимается достаточно сложный двигательный акт, например, перемещение заготовки из входного бункера в шпиндель станка и ее закрепление там, в отличие от движения как результата срабатывания какой-либо одной степени свободы робота, например, вращение робота вокруг вертикальной оси на заданный угол.

Таким образом, можно отметить тот факт, что рождение робототехники выдвинуло задачи машинного зрения и распознавания изображений в число первоочередных. В традиционном распознавании образов появился хорошо разработанный математический аппарат, и для не очень сложных объектов оказалось возможным строить практически работающие системы классификации по признакам, по аналогии и т. д.

В качестве признаков могут рассматриваться любые характеристики распознаваемых объектов. Признаки должны быть инвариантны к ориентации, размеру и вариациям формы объектов. Алфавит признаков придумывается разработчиком системы. Качество распознавания во многом зависит от того, насколько удачно придуман алфавит признаков. Распознавание состоит в априорном получении вектора признаков для выделенного на изображении отдельного распознаваемого объекта, и лишь затем в определении того, какому из эталонов этот вектор соответствует. П. Уинстон в начале 80-х годов обратил внимание на необходимость реализации целенаправленного процесса машинного восприятия. Цель должна управлять работой всех процедур, в том числе и процедур нижнего уровня, т. е. процедур предварительной обработки и выделения признаков. Должна иметься возможность на любой стадии процесса в зависимости от получаемого результата возвращаться к его началу для уточнения результатов работы процедур предшествующих уровней. У П. Уинстона, так же как и у

других исследователей, до решения практических задач дело не дошло, хотя в 80-е годы вычислительные мощности больших машин позволяли начать решение подобных задач. Таким образом, ранние традиционные системы распознавания, основывающиеся на последовательной организации процесса распознавания и классификации объектов, эффективно решать задачи восприятия сложной зрительной информации не могли.

В начале 70-х годов произошел качественный скачок и пришло понимание, что необходимы глубокие знания в соответствующей области и выделение знаний из данных, получаемых от эксперта. Появляются экспертные системы (ЭС), или системы, основанные на знаниях, без которых невозможно представить себе ни одну современную интеллектуальную технологическую систему.

6.3. Современные тенденции развития интеллектуальных производственных систем

Одной из основных тенденций развития промышленных интеллектуальных систем является явное смещение исследований в область нейрокибернетики, или, иначе говоря, подход к разработке систем, демонстрирующих «разумное» поведение, на основе архитектур, напоминающих устройство мозга и называемых нейронными сетями. В 1942 году, когда Н. Винер определил концепции кибернетики, В. Мак-Каллок и В. Питс опубликовали первый фундаментальный труд по нейронным сетям, где говорилось о том, что любое хорошо заданное отношение вход-выход может быть представлено в виде формальной нейронной сети (рис. 6.4). Одна из ключевых особенностей нейронных сетей состоит в том, что они способны обучаться на основе опыта, полученного в обучающей среде. В 1957 году Ф. Розенблат изобрел устройство для распознавания на основе нейронной сети - персептрон, который успешно различал буквы алфавита, хотя и отличался высокой чувствительностью к их написанию. Пик интереса к нейронным сетям приходится на 60-е и 70-е годы, а в последние десять лет наблюдается резко возросший объем исследований и разработок нейронных сетей. Это стало возможным в связи с появлением нового аппаратного обеспечения, повысившего производительность вычислений в нейронных сетях (нейропроцессоры, транспьютеры и т. п.). Нейронные сети хорошо подходят для распознавания образов и решения

задач классификации, оптимизации и прогнозирования, поэтому основные области их применения – это промышленное производство и робототехника.

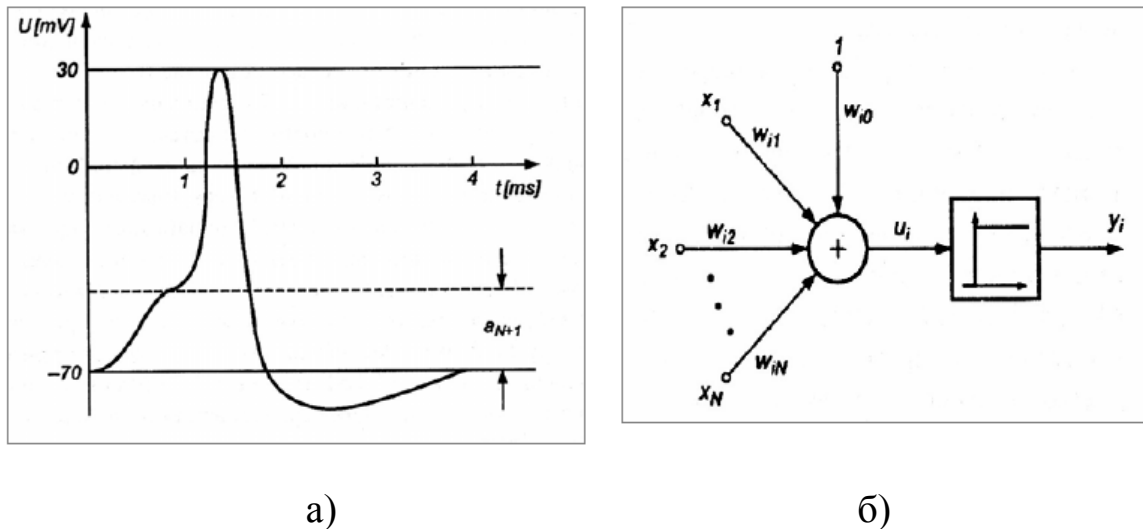


Рис. 6.4. Схема функционирования персептрона: а – типичная схема нервного импульса; б – модель нейрона Мак–Каллока–Питса, или простейший персептрон

Нейронная сеть (НС) считается альтернативным подходом к построению систем искусственного интеллекта, который использует модель, имитирующую структуры нейронов в человеческом мозге. Другим альтернативным подходом считаются генетические алгоритмы (ГА), в основе которых лежит имитация эволюции различных альтернативных конфигураций.

Основные достоинства искусственных нейронных сетей (ИНС) и генетических алгоритмов следующие [4]:

1. Хранение знания в виде большого числа мелких элементов, распределенных по сети, работа с зашумленными и недостаточными данными.
2. Использование принципов скрещивания и мутации – каждое последующее поколение решений может быть лучше старого.
3. НС и ГА дают естественные модели параллельной обработки данных.
4. Рабочий процесс и процесс принятия решения не замедляются при возникновении большого количества данных.

Как правило, при выполнении своих функций ИНС играет роль универсального аппроксиматора функции нескольких переменных, реализуя нелинейную функцию:

$$y=f(x),$$

где x - это входной вектор; y - реализация векторной функции нескольких переменных. Входные сигналы $x_j(j=0,1,2,\dots,N)$ суммируются с учетом соответствующих весов w_{ij} в сумматоре, после чего результат сравнивается с пороговым значением. Аргументом функции выступает сигнал

$$u_i = \sum_{j=1}^N w_{ij} x_j(t) + w_{i0},$$

где w_{ij} - набор вещественных весовых коэффициентов, определяющих силу связи между нейронами, $\sum_{j=1}^N w_{ij} x_j(t) + w_{i0}$ - уровень активации нейрона, который определяется взвешенной суммой его входных сигналов.

Пороговая функция определяет активное или неактивное состояние нейрона и предназначена для вычисления выходного значения нейрона путем сравнения уровня активации с некоторым порогом.

Функция $f(u_i)$ называется функцией активации. В модели МакКаллока–Питса – это пороговая функция вида

$$f(u) = \begin{cases} 1 & \text{їдї } u > 0, \\ 0 & \text{їдї } u \leq 0. \end{cases}$$

ИНС представляет собой параллельную, распределенную, адаптивную систему, которая восстанавливает скрытые закономерности и развивает свои способности при обработке информации и в результате обучения. Таким образом, в ИНС:

1. Как в параллельных системах в любой момент времени в активном состоянии могут находиться несколько процессов.
2. Как в распределенных системах каждый из процессов может независимо обрабатывать локальные данные и принимать решения, а отдельные процессы обмениваются информацией между собой и внешней информационной средой через каналы связи.
3. Как в адаптивных системах процессы обработки информации организуются таким образом, чтобы достигнуть требуемых целей при

неопределенных факторах, причем при изменении последних система способна адаптироваться.

ИНС обладает следующими признаками:

1. ИНС состоит из простых нейропроцессорных элементов (НЭ), или нейроэлементов, являющихся искусственным аналогом биологических нейронов.

2. НЭ связаны между собой направленными информационными каналами (ИК), по которым распространяются информационные сигналы, закодированные в скалярной форме.

3. Каждый НЭ может быть связан посредством входных ИК с множеством других НЭ.

4. Каждый НЭ имеет единственный выходной ИК, который в последствии может разветвляться.

5. Каждый НЭ может обладать собственной внутренней памятью и осуществлять локальную обработку приходящей к нему информации.

6. Информация обрабатывается нейроэлементом локально: она зависит только от значений, поступающих к входным ИК, и значений, хранящихся в его внутренней памяти.

7. ИНС развиваются и адаптируются в процессе обучения по примерам.

Технологии обучения ИНС подразделяются на две категории:

1. Обучение с учителем, при котором имеется множество примеров, в которых отклик или поведение НС известно.

2. Обучение без учителя, или самообучение или самоорганизация, при котором процесс обучения НС происходит автономно - по мере поступления новой информации находятся некоторые ее свойства и закономерности и НС обучается отражать их на выходе.

Как уже было сказано выше, другим альтернативным подходом к построению систем искусственного интеллекта можно считать генетические алгоритмы, представляющие собой алгоритмы, основанные на принципах биологической эволюции. Процессы отбора сильнейших представителей и социальные процессы были формализованы с помощью теории клеточных автоматов, генетических алгоритмов, генетического программирования, искусственной жизни и других форм эмерджентных вычислений.

Генетические алгоритмы представляют собой эмерджентную или проявляющуюся модель, т.е. модель, которая имитирует наиболее элегантную и мощную форму адаптации - эволюцию форм жизни животного и растительного мира.

ГА и другие формальные эволюционные аналоги обуславливают наиболее точное решение задачи за счет операции над популяциями кандидатов на роль решения. Решение задач с помощью ГА включает в себя три стадии.

1. Представление отдельных потенциальных решений в специальном виде, удобных для выполнения эволюционных операций изменения и отбора (битовые строки).

2. Реализация скрещивания и мутации, которая присуща биологическим формам жизни, в результате чего появляется новое поколение (особей) с рекомбинированными свойствами их родителей.

3. На основе некоторого критерия отбора выбираются лучшие формы жизни, т.е. наиболее точно соответствующие решению данной проблемы. Эти особи отбираются для выживания и воспроизведения, т.е. для формирования нового поколения потенциальных решений. В конечном счете некоторое поколение особей и станет решением задачи.

После анализа каждого кандидата выбираются пары для рекомбинации. Для рекомбинации используются генетические операторы, в результате выполнения которых новые решения получаются путем комбинации свойств родителей. Как и в естественном эволюционном процессе степень участия в репродуктивном процессе определяется для каждого кандидата значением критерия качества: кандидат с более высоким значением критерия качества участвует в процессе воспроизводства с наибольшей вероятностью. Использование наиболее «слабых» кандидатов в процессе воспроизводства не исключается, так как выживание некоторых слабейших особей имеет важное значение для развития популяции: они могут содержать некоторые важные компоненты решения, например, фрагменты битовой строки, которые могут извлекаться при воспроизводстве. Основными генетическими операторами являются:

1. Скрещивание (*crossover*) - два решения кандидата делятся на несколько частей и обмениваются этими частями, результатом становятся два новых кандидата.

2. Мутация, которая состоит в случайном выборе кандидата и случайном изменении некоторых его свойств, например, мутация мо-

жет состоять в случайном выборе бита в шаблоне и изменении его значения с 1 на 0 или на #, значение мутации состоит в возможном восполнении важных компонентов решения, отсутствующих в исходной популяции.

3. Инверсия - изменение порядка следования битов в битовой строке.

4. Обмен – перемена мест двух произвольных битов.

Работа ГА по выполнению генетических операторов продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто условие его завершения, например, для одного или нескольких кандидатов значение критерия качества не превысит некоторого порога. Основными областями применения генетических алгоритмов являются:

- решение комбинаторных задач и задач оптимизации; инструмент реализации процессов оптимизации при моделировании производственных процессов - оптимизация последовательности, упорядочения и выбора (*Simulationstool*);

- в качестве алгоритма нахождения экстремума многоэкстремальной функции.

Пример задачи оптимизации для генерации определенной последовательности - это выработка оптимальной последовательности загрузки одного из производственных участков. Подходящая симуляционная модель предоставит общее время прохождения загрузки для каждого предложенного решения. В процессе эволюции будут появляться все лучшие и лучшие последовательности, при которых задачи выполняются в наиболее короткие сроки.

Основным преимуществом генетических алгоритмов является их проблемная независимость и способность показать при этом хорошие результаты даже при большом количестве симулятивно-технических решений задач оптимизации. Основными свойствами задач оптимизации, для решения которых используются ГА, служат:

1. Большое пространство решений.

2. Неизвестные свойства пространства решений.

3. Дискретные пространства решений, которые не позволяют применения математической числовой оптимизации проблемы.

4. Множество мягких ограничений, т.е. ограничений, которые не обязательно должны выполняться, но учет которых может привести к ухудшению результатов.

Количество возможных решений зависит от типа оптимизации, а также от количества элементов множества определения, которое содержит элементы, подлежащие оптимизации.

Нейронные структуры и генетические алгоритмы привлекательны как средства реализации интеллекта по многим причинам. Они более пригодны для сопоставления зашумленных и недостаточных данных, т.к. хранят знания в виде большого числа мелких элементов, распределенных по сети. За счет использования принципов скрещивания и мутации каждое последующее поколение решений может быть лучше старого. Нейронные структуры и генетические алгоритмы дают естественные модели параллельной обработки данных, поскольку каждый нейрон или сегмент решения являет собой независимый элемент.

6.4. Искусственный интеллект в роботизированных системах

В настоящее время промышленность широко использует возможности систем искусственного интеллекта. В основном такие системы применяются в гибких производственных комплексах и робототехнических комплексах [2,14]. Систему искусственного интеллекта, которая может применяться в таких случаях, можно определить как комплекс программно-аппаратных средств для решения интеллектуальных задач, которые позволяют ЭВМ выполнять операции, аналогичные функциям человека, занятого умственным трудом. Поэтому под искусственным интеллектом производственных комплексов будем подразумевать алгоритмическое и программное обеспечение их адаптивных систем управления, позволяющее автоматизировать технологические операции интеллектуального характера. Отличительными признаками систем искусственного интеллекта (СИИ) являются наличие баз данных и банков знаний, средств интерпретации задач и планирования их решений, а также связанных с ними алгоритмов формирования понятий, распознавания ситуаций и принятия решений. Решение проблемы представления знаний в памяти ЭВМ открыло принципиальную возможность понимания системами искусственного интеллекта естественного языка и речи. Оно позволило создать интеллектуальные терминалы и интерфейс, обеспечивающие непосредственное речевое или графическое (через дисплей) общение человека с ЭВМ или роботом на естественном языке, ограниченном данной предметной областью.

Системы искусственного интеллекта с базами данных и банками знаний нацелены на решение прикладных задач. Среди них важную роль играют экспертные системы искусственного интеллекта промышленного назначения, которые уже сегодня используются, например, для выработки рекомендаций по выбору компонентов и компоновки гибкого автоматического производства. К числу промышленных систем искусственного интеллекта можно отнести и интеллектуальный человеко-машинный интерфейс.

В последние годы созданы и начинают применяться в промышленности интеллектуальные системы автоматизированного проектирования, системы искусственного интеллекта для распознавания зрительной информации и речи, интеллектуальные системы автоматизации программирования, интеллектуальные автоматизированные системы подготовки производства, встроенные системы искусственного интеллекта для диагностики оборудования, а также ЛИСП - машины для оперативной обработки символьной информации и ПРОЛОГ - машины для автоматического поиска логических выводов на основе факторов и правил, хранимых в базе знаний [2]. Это позволяет переложить на системы искусственного интеллекта значительную часть умственного труда, которую в условиях обычного производства приходилось возлагать на человека. В результате повышается производительность и степень автоматизации производства. Таким образом, сегодня системы искусственного интеллекта широко представлены на промышленном рынке. Более того, они находят все более широкое применение в адаптивных робототехнических комплексах и гибких технологических модулях.

В отличие от программных роботов, которые манипулируют деталями и инструментами, системы искусственного интеллекта манипулируют знаниями, необходимыми для решения возникающих задач. Тип задачи определяет особенности алгоритма ее решения. Для более чёткого понимания специфики алгоритмов решения интеллектуальных технологических задач рассмотрим задачу планирования поведения робота. Решение этой задачи, получаемое в результате интеллектуальной деятельности робота – есть план целенаправленных действий, т. е. конечная последовательность операций, при фактическом выполнении которых гарантируется достижение цели. Каждая операция переводит робот в некоторое новое состояние, которое можно на-

звать очередной подцелью. В процессе поиска плана поведения могут использоваться как информация, поступающая от информационной системы робота, так и ранее накопленные знания и опыт, хранящиеся в базе знаний системы управления.

Особенности методов решения многих технологических задач гибкой автоматизации можно представить аналогичным образом. Например, при переналадке производства на выпуск нового изделия требуется спланировать, скоординировать и уложить в согласованную схему технологического процесса множество операций: выбор необходимого оборудования, оптимизацию технологических маршрутов, программирование систем управления, диагностику инструмента, контроль качества продукции и т. п. Переход на новую технологию может потребовать согласования основных технологических операций с вопросами совершенно иного характера, связанными, например, с финансированием или охраной окружающей среды. Все эти операции и вопросы взаимосвязаны и должны быть учтены при планировании технологического процесса. Для фактического осуществления этого процесса нужно соответствующим образом запрограммировать системы управления оборудованием гибкого автоматизированного производства, после чего может быть получено требуемое изделие с заданными свойствами.

Таким образом, чтобы решить задачу планирования, необходимо составить хорошо скоординированную, согласованную схему операций (логических, математических, технологических и др.), начинающуюся с наперед заданных условий (предпосылок) и заканчивающуюся достижением цели. Решая такого рода задачи, система искусственного интеллекта постоянно ищет пути обхода препятствий и достижения заданной цели, пытается выработать какой-то план действий, следуя которому можно достичь эту непосредственно недоступную цель. Умение системы искусственного интеллекта решать интеллектуальные задачи посредством использования имеющихся знаний приобретается путем обучения на опыте и адаптации. Это умение и связанные с ним навыки решения задач в известном смысле гораздо важнее для систем искусственного интеллекта, чем информация, хранящаяся в банке знаний, хотя, конечно, без необходимых знаний невозможно найти и решение.

Отдельно стоит отметить особенности интеллекта робототехнических производственных комплексов. Как правило, в настоящее время под интеллектом робототехнического комплекса понимают способность его системы управления решать технологические задачи интеллектуального характера посредством целенаправленного преобразования информации и знаний, обучения на опыте и адаптации к изменяющейся производственной обстановке [2]. Характерными чертами интеллекта робототехнического комплекса согласно данному определению являются их способность к переработке знаний, обучению, накоплению опыта и адаптации к заранее неизвестным и изменяющимся условиям в процессе решения задач. Благодаря этим качествам интеллектуальный робототехнический комплекс может решать самые сложные и разнообразные технологические задачи, а также легко перестраиваться с решения одного класса задач на другой. Таким образом, система управления робототехническим комплексом, наделенная элементами искусственного интеллекта, считается универсальным средством решения широкого круга технологических задач. Она позволяет автоматизировать технологические операции интеллектуального характера.

Область робототехники охватывает достаточно широкий класс машин начиная от простейших игрушек до полностью автоматизированных производств (автоматически управляемые электростанции, беспилотные космические корабли, автоматические подводные аппараты, ЭВМ, играющая в шахматы - все эти системы можно считать роботами). Поэтому термин «робот» имеет весьма широкий подтекст.

В дальнейшем остановимся более подробно на детальном рассмотрении подсистем низшего уровня, выполняющих технологические операции обработки заготовок, и связи данных подсистем с подсистемами высшего уровня.

Непрерывно растущий интеллект промышленных роботов расширяет сферу применения робототехники, которая уже охватывает промышленность, сельское хозяйство, транспорт, медицину, научные исследования практически во всех областях знаний. Структура робо-

та, взаимодействующего с окружающей средой, может быть упрощенно проиллюстрирована рис. 6.5.

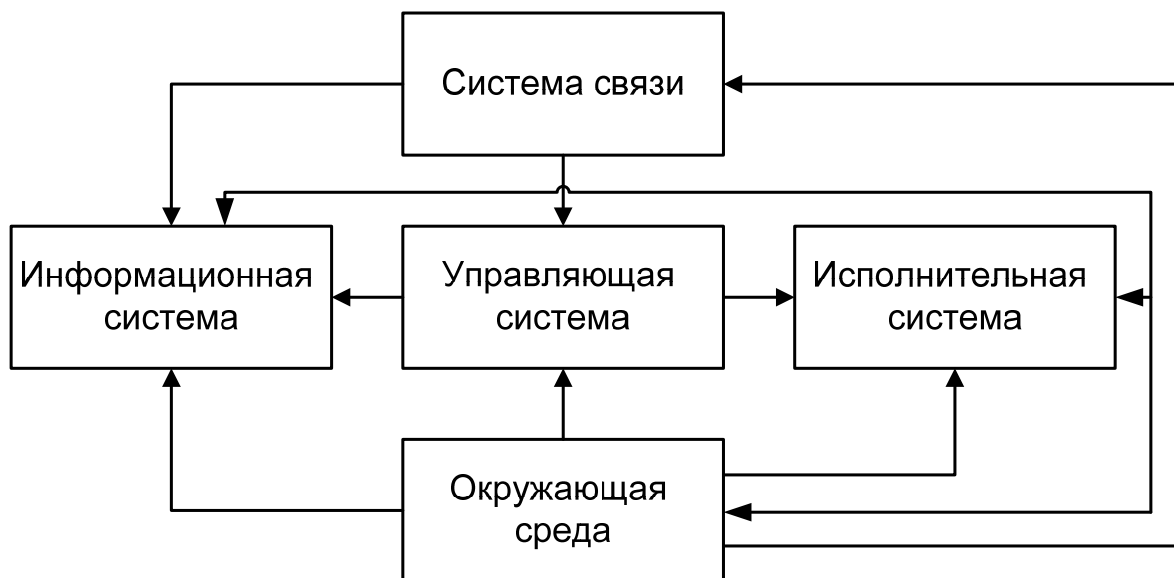


Рис. 6.5. Обобщённая структура робота, взаимодействующего с окружающей средой

В общем случае робот состоит из четырех систем [2]:

- исполнительной (манипуляционной) – для целенаправленного воздействия на окружающую среду;
- информационно-измерительной (сенсорной) – для обеспечения робота информацией о состоянии внешней среды, результатах воздействия на нее манипуляционной системы (или взаимодействия системы робот – объект – среда) и состояния самого робота в соответствии с требованиями управляющей системы;
- управляющей системы (интеллекта) – для выработки закона управления манипуляционной системой на основании данных, поступающих от информационной системы, а также для организации общения робота с человеком или другими функциональными устройствами, с которыми взаимодействует робот; интеллектуальные способности робота определяются главным образом алгоритмическим и программным обеспечением его управляющей системы;
- системы связи – для организации обмена информацией между роботом и человеком или другими функциональными устройствами (в том числе роботами) на некотором понятном им языке.

Уровни интеллекта и информационного обеспечения промышленного робота определяются характеристикой окружающей среды, с которой взаимодействует (на которую воздействует) исполнительная система робота. В робототехнических системах под окружающей средой понимаются объекты роботизации, которые могут находиться в неупорядоченном (и тогда среда является неподготовленной), упорядоченном (подготовленная среда) и частично упорядоченном состоянии. Снижение информационной нагрузки и уровня интеллекта робота возможно, если заранее подготовить среду путем упорядочения объектов по классам, ориентации в пространстве и относительно друг друга.

Важнейшая проблема робототехники – анализ роботизируемого производства, предусматривающий этапы подготовки среды (упорядочения объектов) специальными средствами. Возможность упорядочения объектов рассматривается при этом как один из основных фактов оценки технологичности объектов под роботизированное изготовление. Особенно важным является использование средств и методов упорядочения среды при роботизации многономенклатурного мелкосерийного производства, когда отсутствие таких средств обуславливает слишком разветвленную систему информационного обеспечения, что удорожает робототехническую систему в целом, снижает надежность ее функционирования и повышает затраты на эксплуатацию роботов.

Гибкость автоматизированных производственных процессов, особенно в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства, можно обеспечить путем их организации по модульному принципу. Основу последнего составляют элементы нижнего уровня структуры гибких автоматизированных производств – робототехнологические комплексы. Такие производства представляют собой комплексные объединения станков с числовым программным управлением, другого технологического (в том числе и сборочного) оборудования и роботов, управляемых микропроцессорами, с системами автоматизированной подготовки производства, включая его технологический анализ, проектирование изделий и разработку технологии.

Искусственный интеллект промышленных комплексов заключается в возможности распознавать детали и их поверхности с точки зрения качества и соответствия заданным геометрическим размерам по чертежу, управлять технологическим процессом и принимать решения по его изменению. В свою очередь, принятие реше-

ния включает формирование промежуточных целей для выполнения поставленной задачи.

В робототехнике системы оцувствления и искусственного интеллекта нашли достаточно широкое применение. Следует выделить следующие направления развития интеллектуальных роботов.

1. Промышленные роботы, работающие в производственной сфере и заменяющие человека при выполнении технологических операций. Интеллект указанных роботов заключается в их способности автоматически распознавать качество обработанной поверхности, контролировать режимы обработки и корректировать их в зависимости от поставленной цели, например, минимизировать погрешности, уменьшать энергозатраты, выбирать технологию обработки в зависимости от типа детали и требований к ее выходным характеристикам. В настоящее время это основной класс роботов, которому должно быть уделено особое внимание, так как замена человека в сфере производства качественно изменит его жизнедеятельность.

2. Игровые роботы.

3. Специальные роботы, способные работать в военной обстановке, а также в условиях особо опасных для жизнедеятельности человека.

Интеллектуальные робототехнические системы для выполнения производственных задач, так называемые роботы-станки, являются устройствами, которые полностью автоматизируют производство по выпуску определенного вида продукции. Данное оборудование оснащается системами контроля технологических и выходных параметров обрабатываемого изделия. К станочному оборудованию предъявляются достаточно высокие требования по точности, надежности и ответственности выполняемой операции.

При выполнении операций обработки и сборки сложных изделий невозможно требовать вероятностного результата. Как правило, такие операции строго детерминированы. Поэтому вероятностные поисковые методы возможны только на стадии обработки результатов. Принятие окончательного решения должно давать детерминированный результат, обеспечивающий поставленную цель.

Особенно высокие требования предъявляются при обработке поверхностей сложной формы. В этом случае необходимы более точное выполнение режимов обработки, контроль износа инструмента в процессе обработки и обеспечение одновременно нескольких параметров детали. В частности, для каждой точки поверхности нужно

одновременно обеспечивать до шести геометрических параметров, не считая качества поверхности. Для сложных поверхностей, кроме требований к самим координатам, накладываются условия и на их производные. Для соблюдения высоких требований к точности изготовления деталей необходимо осуществлять постоянный контроль геометрических параметров станка, размеров звеньев, температурных изменений и других параметров. Применение механизмов параллельной структуры также качественно меняет подход к проектированию станочного робототехнического оборудования.

Понятие робот-станок было введено в 1992 году при описании станочного оборудования, построенного на механизмах параллельной структуры и позволяющего посредством одного и того же механизма выполнять транспортные операции и операции обработки. Данные механизмы позволяют расширить функциональные возможности станочного оборудования и при наличии системы управления, оснащенной элементами искусственного интеллекта, делают данное оборудование близким к интеллектуальным роботам. На рис. 6.6 представлен робот-станок, предназначенный для выполнения механической обработки.

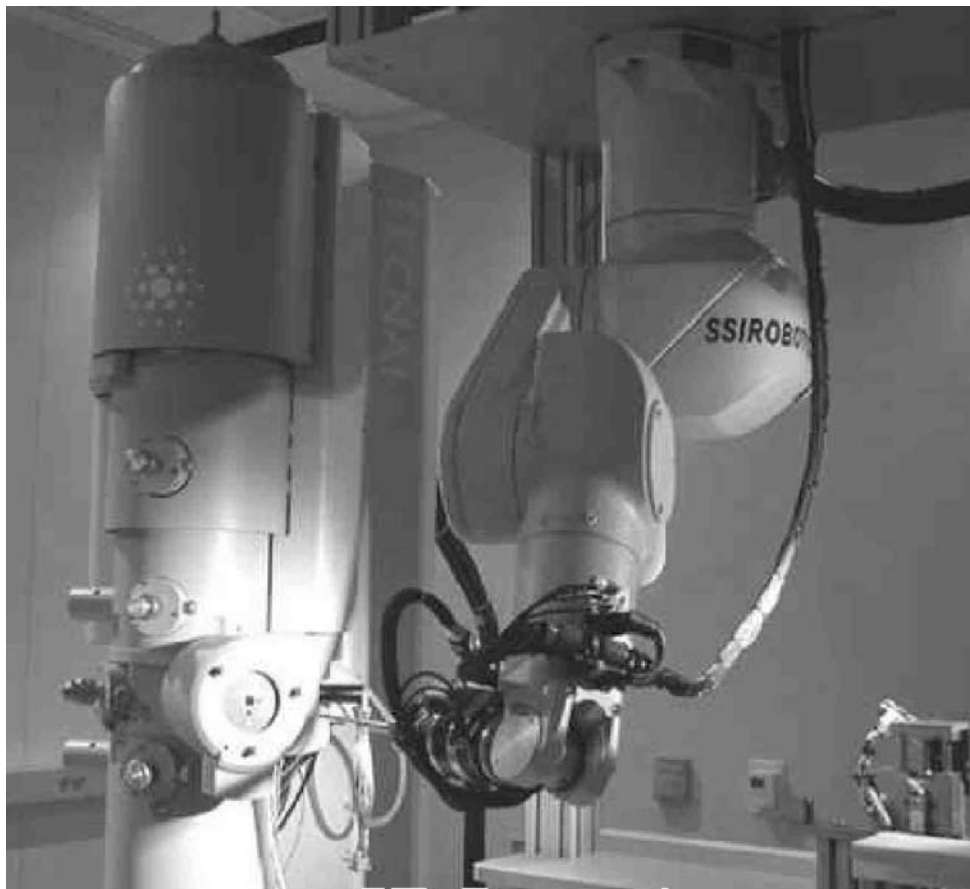


Рис. 6.6. Робот-станок

Совмещение функций особенно актуально для сложных высокоточных операций, когда требуется изготовление детали от одной базы. В данном случае получаем универсальное оборудование, позволяющее выполнять несколько различных технологических операций для широкой номенклатуры изделий. Главной отличительной особенностью робота-станка от обрабатывающего центра является универсальность, точнее, более богатые кинематические возможности перемещения механизмов. Безусловно, из набора роботов-станков можно построить распределенный обрабатывающий центр. Механизмы параллельной структуры расширили возможности исполнительных механизмов станков, сделали их более облегченными и универсальными. Наличие параллельных кинематических цепей позволяет управлять одним выходным звеном по нескольким параллельным каналам, обеспечивая одновременное управление по положению, скорости, более высоким производным, а также по силе.

В настоящее время промышленность уже освоила выпуск большой номенклатуры интеллектуальных робототехнических систем, которые довольно быстро заняли лидирующее место в сфере промышленной робототехники. При этом роботы всё чаще представляются в виде технологических систем, непосредственно выполняющих операцию обработки. Как уже было сказано выше, такие системы называются роботами-станками, так как их кинематическая схема позволяет выполнять транспортные операции и непосредственно обработку. Применение механизмов параллельной структуры уже на низшем уровне позволяет расширить интеллектуальные возможности технологических машин.

Интеллектуальная робототехническая система включает объект управления совместно со средой, в которой она работает. Структура робототехнической системы [2] представлена на рис. 6.7. Объект управления представляет непосредственно механизмы перемещения инструмента и изделия. В состав манипуляторов входят исполнительные двигатели, которые осуществляют их перемещение по заданным законам R_d и R_n (см. рис. 6.7). Информация о положении выходных звеньев манипуляторов определяется датчиками, расположенными в шарнирах звеньев манипуляторов, которые по-

лучают информацию о выходных координатах механизмов перемещения, их скоростях, ускорениях и силах.

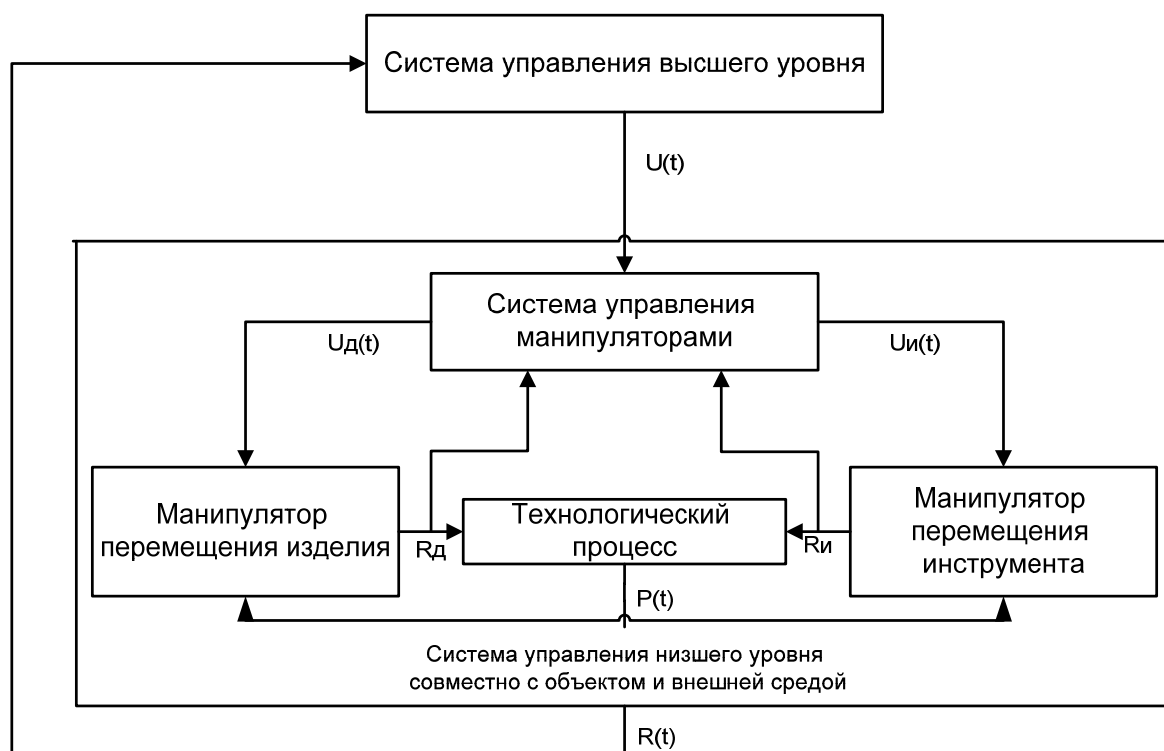


Рис. 6.7. Структура робототехнической системы: $U(t)$ – управляющий сигнал; $U_d(t)$ и $U_i(t)$ – законы перемещения исполнительных манипуляторов; R_d и R_i – выходные координаты манипуляторов; $P(t)$ – создаваемое усилие и $R(t)$ – управляющий сигнал

Основная функция системы управления манипуляторами состоит в формировании законов перемещения исполнительными механизмами манипуляторов в реальном времени $U_i(t)$ и $U_d(t)$ (см. рис. 6.7). Данные системы обычно работают в следящем режиме, обеспечивающем выполнение каждой степенью подвижности манипуляторов заданной траектории перемещения с требуемыми точностью, скоростью и усилием. Выходными координатами манипуляторов являются R_d и R_i (см. рис. 6.7). В результате взаимодействия инструмента с заготовкой создается усилие $P(t)$, которое воздействует на исполнительные органы манипуляторов. Применительно к рассматриваемой системе в качестве объекта управления и внешней среды следует рассматривать манипуляторы перемещения изделия, инструмента и непосредственно сам технологический процесс.

Система управления робота-станка (рис. 6.8) построена на базе встроенного персонального компьютера, выполняющего в реальном масштабе времени следующие операции:

- планирование траекторий перемещения манипуляторов на основе данных с чертежа поверхности;
- управление исполнительными приводами;
- обработка информации с датчиков перемещения манипуляторов;
- обработка информации с системы контроля геометрических размеров обрабатываемой поверхности и коррекция траектории перемещения манипуляторов.

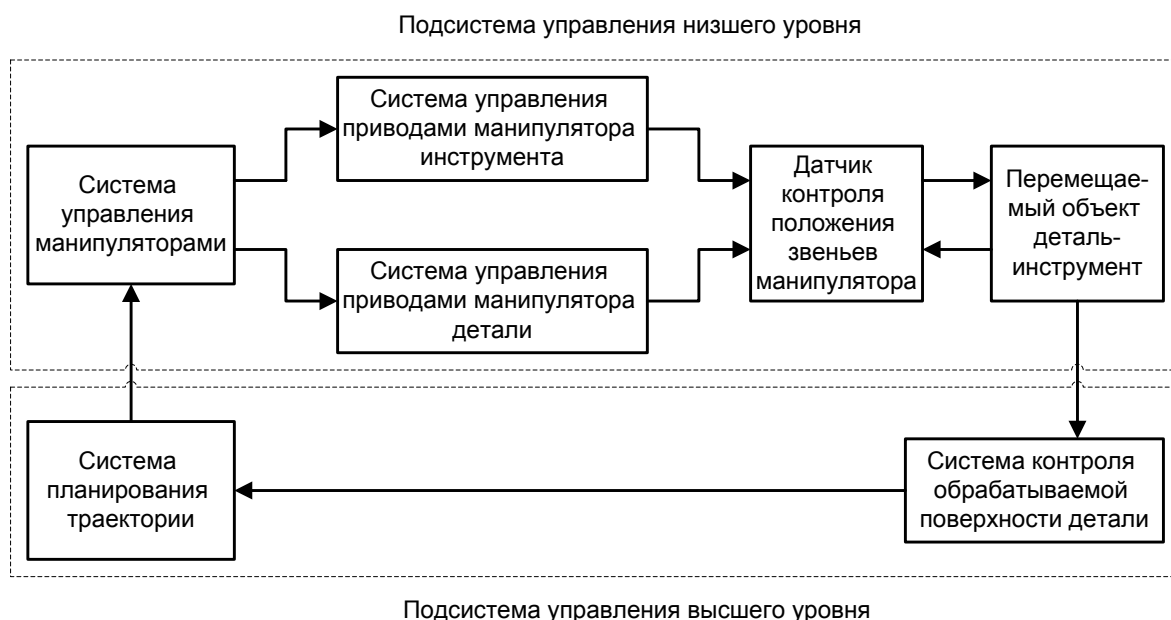


Рис. 6.8. Система управления манипуляторами

Детали, имеющие сложную конфигурацию, составляют большую группу в машиностроении. Технологическое оборудование, применяемое в настоящее время для механической обработки сложных поверхностей, это, как правило, обрабатывающие центры, оснащенные числовой системой управления, либо специализированные станки, выполняющие перемещение заготовки или инструмента по жесткой, неперестраиваемой траектории.

Для выполнения операций по переноске заготовок и готовых деталей станки оснащаются специальными манипуляционными механизмами. Одним из недостатков процесса создания оборудования яв-

ляется традиционно принятая последовательность, когда первоначально конструируется механическая часть, затем для разработанной механики подбирается система управления, обеспечивающая требуемые законы перемещения и технологические режимы обработки. При этом получаем систему, у которой оптимально, но отдельно проектируемые части не всегда оказываются оптимальными в целом для всей системы. Таким образом, основная тенденция развития современного технологического оборудования заключается в единстве механики и управления.

Современная вычислительная техника, обладающая высоким быстродействием, позволяет по-новому подойти к созданию технологической машины. Система управления совместно с датчиками информации способна исправлять "недостатки" механической части технологической машины. Поэтому технологическую машину необходимо рассматривать как единую систему, включающую механическую часть, технологический процесс и непосредственно систему управления. Обычно в такой схеме управления манипулятор изделия осуществляет его перемещение по заданным координатам, манипулятор инструмента перемещает инструмент по своим заданным координатам, и в результате их взаимного перемещения выполняется обработка и технологический процесс воздействует на оба манипулятора.

Для оптимального управления технологическим комплексом как единой системой необходимо задать критерии, характеризующие качество выполнения технологической операции. Такими критериями, например, для абразивной обработки будут шероховатость поверхности R_z , глубина прижогов поверхностного слоя обработанной поверхности $h_{\text{п}}$ и максимальный съём материала в направлении перемещения инструмента относительно детали $Q_{\text{рез}}$ (рис. 6.9 а). Исходным требованием к поверхности обработки считается требование к шероховатости поверхности R_z и к возможным прижогам $h_{\text{п}}$, что особенно критично при обработке титановых сплавов. Данные критерии определяются в большей степени скоростью относительного перемещения инструмента и обрабатываемой заготовки $V_{\text{п}}$. При этом существуют ограничения скорости $V_{\text{пmin}}$ и $V_{\text{пmax}}$, когда обеспечиваются допустимые $h_{\text{пmin}}$ и $h_{\text{пmax}}$, $R_{z\text{min}}$ и $R_{z\text{max}}$. Область ограничений по $V_{\text{п}}$ связана с ограничениями по силе резания $P_{\text{рез.min}}$ и $P_{\text{рез.max}}$. Данные ограничения обусловлены упругими допустимыми деформациями, определяемыми данны-

ми силами, $E_{упр.min}$ и $E_{упр.max}$. Ограничение на $P_{рез}$ может быть определено также конструктивными допустимыми размерами, при которых наступало разрушение инструмента либо других конструкций станка.

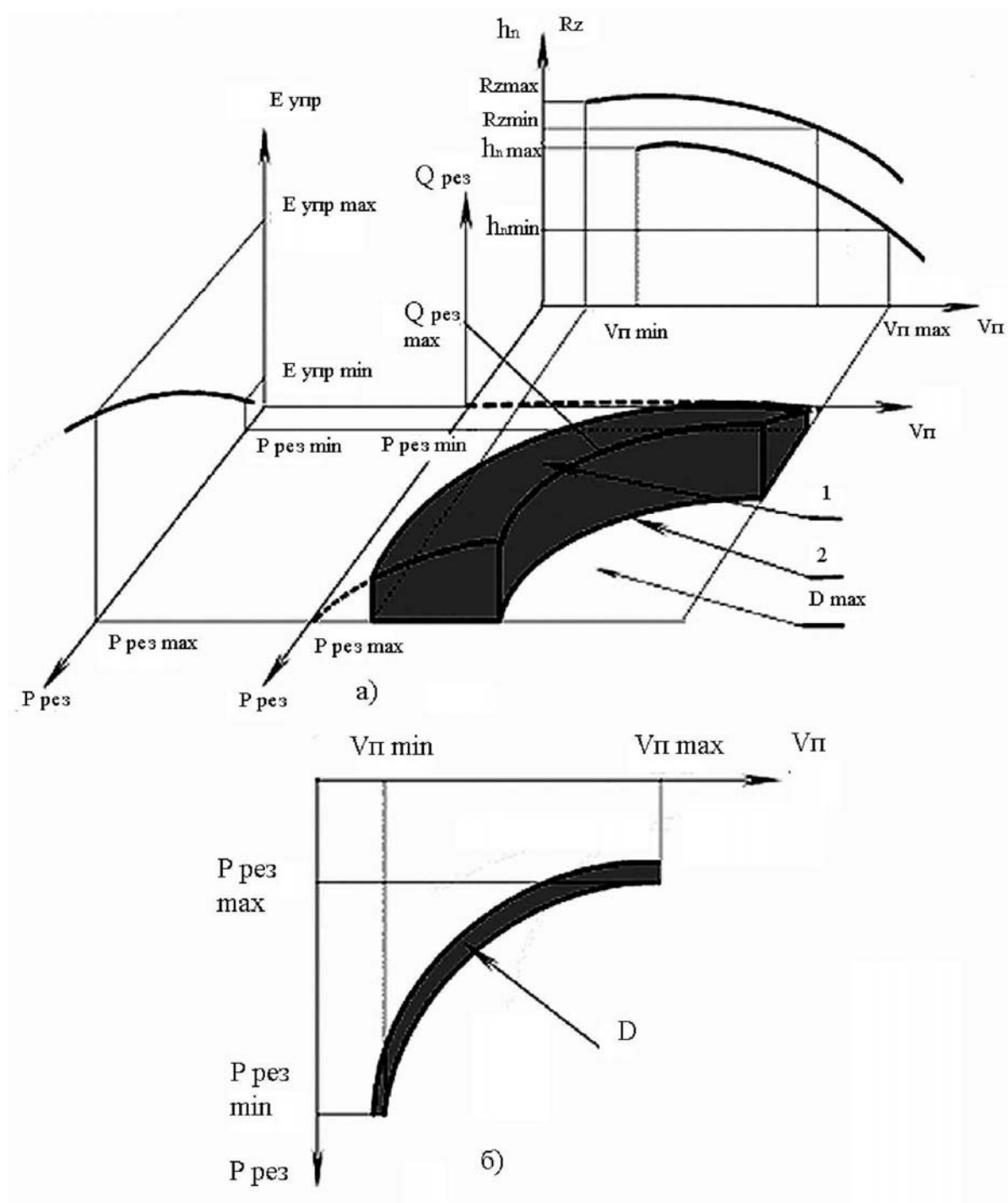


Рис. 6.9. Оптимальное управление технологическим комплексом: а – пример обрабатываемой поверхности; б – области изменения $P_{рез}$ и $V_{п}$, где $P_{рез}$ – сила резания; $V_{п}$ – скорость перемещения инструмента относительно заготовки

Область $D_{\max} \in (P_{\text{рез.мин}} \div P_{\text{рез.макс}}, V_{\text{пмин}} \div V_{\text{пмакс}})$ накладывает ограничения на $P_{\text{рез}}$ и $V_{\text{п}}$ с целью обеспечения качества, точности и прочности конструкции. Однако в области D_{\max} существует область, в которой обеспечивается максимальный съем материала, что тождественно мощности, затрачиваемой на резание, и определяется формулой.

$$Q_{\text{рез}} = V_{\text{п}} P_{\text{рез}}.$$

На рис. 6.9, а $Q_{\text{рез}}$ представляет поверхность 1, которая описывается приведенным уравнением. Так как $Q_{\text{рез}}$ имеет максимум на границе зоны 2, то область D (рис. 6.9, б) является той областью изменения $D(P_{\text{рез}}, V_{\text{п}})$, где обеспечиваются требуемое качество, точность и максимальная производительность. На рис. 6.9, б приведены области изменения $P_{\text{рез}}$ и $V_{\text{п}}$, равные соответственно составляющим силы $P_{\text{рез}}$ и скорости $V_{\text{п}}$ в направлении движения инструмента относительно заготовки и обеспечивающие требуемую шероховатость поверхности, глубину прижогов ($h_{\text{п}}$) обработанного поверхностного слоя и упругие допустимые деформации $E_{\text{упр}}$ от действия силы резания. Нахождение $P_{\text{рез}}$ и $V_{\text{п}}$ в области D дополнительно к требуемому качеству обеспечивает максимальный съем материала в единицу времени $Q_{\text{рез макс}}$. Данная область ограничена погрешностью измерения $P_{\text{рез}}$ и $V_{\text{п}}$. Поэтому управление исполнительными приводами манипуляторов перемещения инструмента и детали осуществляется таким образом, чтобы находиться в области $D(P_{\text{рез}}, V_{\text{п}})$, так как в этом случае обеспечивается требуемое качество поверхности после обработки и максимальная производительность.

Основными требованиями к управлению технологическими системами, построенными на подвижных стержневых манипуляторах, можно считать, во-первых, обеспечение технологических режимов для выполняемой операции, точности и качества получения поверхности при ее обработке и, во-вторых, выполнение указанных требований при наличии упругих деформаций исполнительных механизмов [2]. Это возможно только в том случае, если работает система контроля технологических параметров, геометрических размеров обрабатываемой поверхности, положения исполнительных механизмов и упругих передвижений звеньев манипуляторов перемещения инструмента и изделия. Указанные системы контроля оснащаются датчиками контроля положения звеньев механизма, упругих перемещений, режимов обработки (датчики измерения силы резания, подачи, скорости резания, износа инструмента и др.), качества обрабатываемой поверхности и ее геометрических размеров.

Система управления технологической машиной в целом представляет сложную систему, способную решать отдельные интеллектуальные задачи. Система управления предназначена для формирования законов управления исполнительными приводами, обработки информации систем контроля, задания траектории перемещения инструмента относительно обрабатываемой заготовки и обеспечения требуемых режимов обработки.

Основными функциями интеллектуальной системы управления являются следующие:

1. Описание поверхности, которую требуется получить после обработки на каждом переходе, а также после окончательной обработки. Эта информация хранится в виде массива опорных точек поверхности.

2. Формирование траектории движения инструмента. Траектория рассчитывается исходя из снимаемого припуска на каждом переходе как непрерывное перемещение подвижного трехгранника в системе координат детали.

3. Сравнение программной траектории перемещения инструмента с реальным его положением в системе координат детали. На основе данного сравнения определяются погрешности линейных и угловых координат.

4. Определение реальных координат заготовки. Оптическая система контроля поверхности определяет реальные координаты поверхности заготовки в системе координат детали. Сравнивая реальные координаты с идеальными, формируется массив распределения припуска по обрабатываемой поверхности.

5. Вторым функциональным назначением оптической системы контроля является определение шероховатости обработанной поверхности и ее распределение. В зависимости от дискретной градации уровня шероховатости формируются зоны на поверхности с заданным уровнем микронеровностей.

6. Выбор информационных датчиков контроля положения.

Информационные датчики выбираются из суммарного количества датчиков, определяющих перемещения в сочленениях звеньев механизма параллельной структуры. Критерием, по которому выбираются данные датчики, считается минимум погрешности вычисления выходного звена при заданной погрешности датчиков.

В состав системы управления входят сепаратные приводы, представляющие замкнутые по положению следящие системы по каждой управляемой координате механизма. Кроме этого система управления в целом также представляет следящую систему, в которой осуществляется сравнение программного положения режущей кромки инструмента с реальным его положением в системе координат детали. Для этих целей применяются специальные математические расчёты, целью которых является нахождение параметров, обеспечивающих устойчивость системы и требуемую точность. Решение прямой и обратной задач кинематики подвижных стержневых механизмов параллельной структуры осуществляется с использованием дополнительных датчиков. Для этого датчики положения устанавливаются в сочленениях звеньев, содержащих и не содержащих исполнительные приводы. Это позволяет оперативно вычислять управление исполнительными приводами и сокращает вычислительные ресурсы. Однако при этом необходимо решать задачу выбора группы датчиков для соответствующей конфигурации механизма, которые с наибольшей точностью определяют положение его выходного звена. Например, два датчика (рис. 6.10.), имеющие одинаковую погрешность определения углового положения $\Delta 1 = \Delta 2$, с разной точностью определяют линейные перемещения в направлении оси X . Датчик $D1$ определяет значение X более точно, чем $D2$, и $\Delta x1 < \Delta x2$. При другом положении точки i на плоскости значимость точности датчика может поменяться.

Манипулятор перемещения изделия специального робота-станка для обработки пера лопаток (рис. 6.11) содержит дополнительные датчики. Данный манипулятор имеет четыре управляемых двигателя $D1, D2, D3, D4$ для перемещения выходного звена по четырем координатам: двум линейным и двум угловым. Кроме датчиков контроля углов поворота двигателей $q1, q2, q3$ и $q4$, в

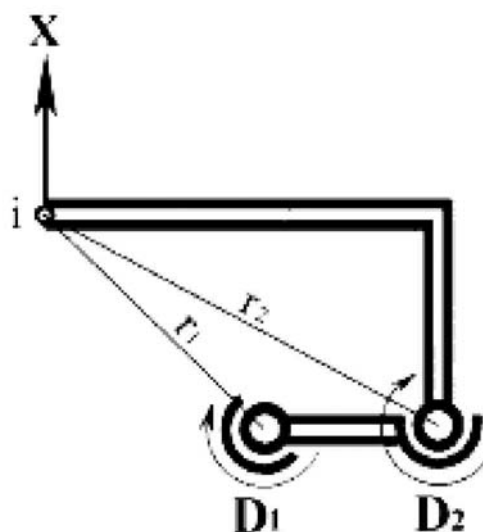


Рис. 6.10. Кинематическая схема установки дополнительных датчиков $D1$ и $D2$

механизме установлены датчики измерения углов взаимного положения звеньев, расположенные в сочленениях $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$.

Для определения положения платформы робота-станка относительно базовой системы координат $(XYZ)_0$ достаточно знать длины всех звеньев и четыре угла поворота. При наличии семи датчиков контроля углового положения звеньев требуется найти такое сочетание четырех из семи информационных углов, которое обеспечит минимальную погрешность определения координат выходного звена относительно базовой системы координат.

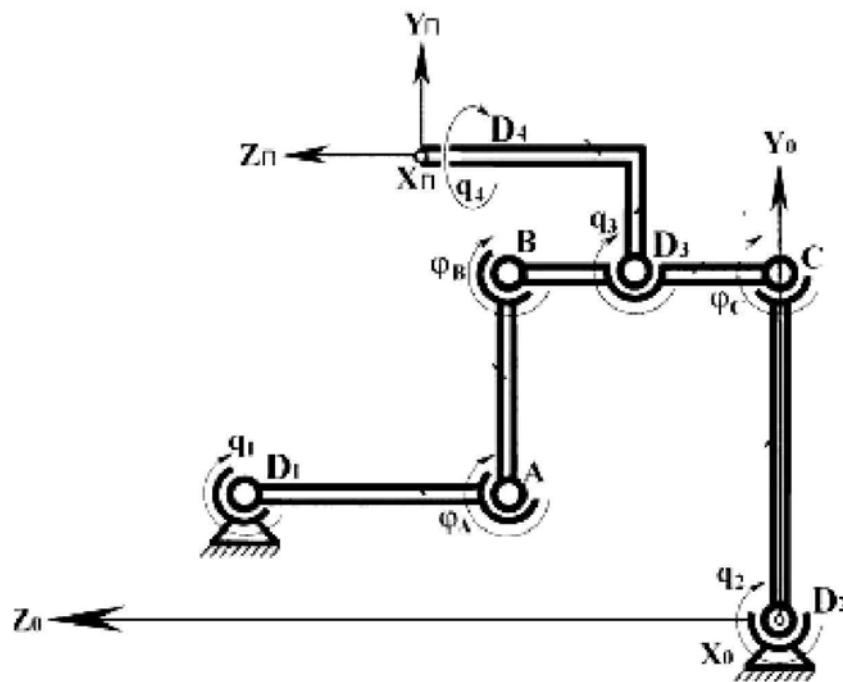


Рис. 6.11. Кинематическая схема расположения дополнительных датчиков робота-станка

В настоящее время самым распространённым элементом интеллектуальной системы управления является встроенная оптическая система контроля. Встроенная оптическая система контроля поверхности позволяет оперативно изменять траекторию относительного перемещения инструмента и изделия. При создании системы управления процессом механической обработки заготовок с использованием многозвенных манипуляционных механизмов, которые управляются системами с элементами искусственного интеллекта, возникает необходимость экономного описания этого процесса, в том числе описания геометрического контура обрабатываемой поверхности. При этом следует отметить, что метод описания геометрии обрабаты-

ваемой поверхности определяет принципы построения систем управления манипуляционными механизмами, а также системы распознавания геометрических параметров. Геометрия обрабатываемой поверхности определяет также требуемое количество степеней подвижности манипулятора, необходимое для выполнения данной операции.

Поверхности реальных промышленных деталей, имеющих сферическую, цилиндрическую, коническую или иную форму, могут быть заданы следующими параметрами: радиусами кривизны, кручения и координатами опорных точек или линий. Перемещение инструмента по траектории на обрабатываемой поверхности от одной опорной точки к другой может быть задано как перемещение по траектории с заданными радиусами кривизны и кручения. Форма поверхности образуется режущей кромкой инструмента, который перемещается по траектории на обрабатываемой заготовке. Эта траектория выбирается таким образом, чтобы при движении по ней режущей кромки инструмента образовывалась требуемая поверхность.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Контрольные вопросы к 1-й главе

1. Какие виды производств различают с позиции автоматизации? Дайте их краткую характеристику.
2. Дайте характеристику и приведите примеры состояний технологической среды.
3. Назовите основные классификационные признаки САУ.
4. Дайте определения понятий: система, элемент, связь, структура.
5. Назовите виды структур систем управления.
6. Назовите элементы системы управления и дайте их характеристику.
7. Что такое алгоритм управления?
8. Какие функции локальной САУ можно выделить?
9. Назовите виды функциональных структур САУ и дайте их характеристику.

Контрольные вопросы ко 2-й главе

1. Назовите этапы подготовки производства.
2. Что понимается под технологической подготовкой производства?
3. Какова цель технологической подготовки производства?
4. Какие виды технологических процессов вы знаете, дайте их характеристику.

5. Назовите виды исходной информации для разработки ТП и дайте им краткую характеристику.
6. Охарактеризуйте методы реализации ТПП.
7. В чем состоит преимущество АСТПП по сравнению с ручной ТПП?
8. Что входит в автоматизацию технологической подготовки производства при использовании станков с ЧПУ?
9. Назовите методы быстрого прототипирования и приведите примеры.
10. Покажите на примере последовательность проектирования технологии фрезерной обработки на станках с ЧПУ.

Контрольные вопросы к 3-й главе

1. Сформулируйте определение технологического процесса.
2. Назовите уровни АСУТП и дайте их характеристику.
3. Назовите функции АСУТП и дайте им характеристики.
4. Дайте описание нижнего уровня АСУТП.
5. Приведите классификацию датчиков.
6. Дайте описание среднего уровня АСУТП.
7. Приведите описание верхнего уровня АСУТП.

Контрольные вопросы к 4-й главе

1. Какие этапы развития контроллеров вы можете назвать?
2. Назовите функции релейных контроллеров.
3. Назовите функции программируемых логических контроллеров.
4. Дайте общую характеристику специализированных контроллеров (достоинства и недостатки).
5. Каковы функции устройства сбора и обработки?
6. Охарактеризуйте модульные ПЛК.
7. Дайте характеристику РС-совместимых контроллеров.
8. Дайте характеристику промышленных контроллеров.
9. Какие требования предъявляются к контроллерам АСУТП?
10. Охарактеризуйте SCADA-системы и назовите задачи, решаемые на верхнем уровне АСУТП.
11. Дайте общую и техническую характеристики контроллеров ОВЕН.

Контрольные вопросы к 5-й главе

1. Каковы преимущества станков с ЧПУ?
2. Дайте определение системы ЧПУ.
3. Какие виды систем ЧПУ, вы знаете?

4. Назовите задачи, решаемые устройствами ЧПУ, и дайте их описание.
5. Приведите классификацию систем ЧПУ.
6. Приведите пример решения траекторной задачи для контурной системы ЧПУ.
7. Дайте характеристику метода оценочной функции для решения траекторных задач.
8. Назовите концепции развития систем ЧПУ.

Контрольные вопросы к 6-й главе

1. Сформулируйте определение понятия «искусственный интеллект».
2. Какие задачи решаются интеллектуальными системами?
3. Поясните процесс логического вывода в интеллектуальной системе.
4. Представьте структуру информационной системы интеллектуального робота.
5. Приведите понятия «искусственная нейронная сеть» и «генетический алгоритм».
6. Приведите структуру робота, взаимодействующего с окружающей средой.
7. Назовите основные функции интеллектуальной системы управления робота-станка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные высокотехнологичные процессы, направленные на получение конкурентоспособной продукции, отличаются большой сложностью, с одной стороны, и малоизученностью - с другой. Степень неопределенности знаний о процессе зачастую не позволяет в полной мере использовать классические методы и законы управления. Развитие ситуационных и экспертных систем управления, разработка нечетких и нейросетевых регуляторов, методов робастного и адаптивного управления приводят к усложнению законов управления и как следствие использованию современных компьютерных технологий управления.

Появление персональных компьютеров и особенно их использование для управления технологическими процессами привело к истинно революционным изменениям в структуре систем управления на различных уровнях производства.

За последние годы значительно возрос объем технической литературы, в том числе периодических журналов, освещающих основные аспекты построения и функционирования аппаратно-программных средств автоматизации.

Автоматизация управления предприятиями в различных отраслях промышленности базируется на системном подходе к разработке и проектированию систем управления, предполагающем единство цели управления, совместимость аппаратных и программных средств в единой системе, согласованность структуры и функций и т. д., к использованию открытых технологий, отвечающих международным стандартам на все виды обеспечений. В результате жесткой конкуренции на рынке средств промышленной автоматизации формируются более четкие классы и виды аппаратного и программного обеспечения. Многие фирмы выпускают различные по вычислительным ресурсам и возможностям контроллеры, которые удовлетворяют всем потребностям производства. Программное обеспечение становится все более универсальным, масштабируемым и многофункциональным. Локальные вычислительные сети используются на различных уровнях иерархии систем управления, что особенно характерно для сетей Ethernet.

Сохраняются тенденции повышения быстродействия процессоров и объема памяти компьютеров и контроллеров, снижения габаритов аппаратуры: корпусов, плат, периферии. Растут показатели надежности средств автоматизации и систем управления в целом. Нарботка на отказ за последние десять лет увеличилась от тысяч часов до нескольких лет и более. Широко используются методы структурного резервирования узлов и систем управления. Расширяется температурный диапазон применения специализированных компьютеров и контроллеров, степень защиты от пыли и влаги, ударо- и вибропрочность и др. характеристики. Ускоренными темпами развиваются интеграционные программно-аппаратные средства систем управления предприятием в целом от технологического уровня АСУ ТП до бизнес-уровня.

С учетом быстрого развития информационных технологий материал и сведения, приведенные в данном учебном пособии, должны быть дополнены справочно-информационными материалами, практическими примерами и т.п. Это будет являться основным содержанием разрабатываемого сейчас учебного пособия по лабораторным и практическим занятиям, а также курсовому и дипломному проектированию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анашкин, А. С. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления / А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, В.Г. Харазов; под ред. В.Г. Харазова. – СПб.: «П-2», 2004. – 368 с. – ISBN 5-93893-274-2.
2. Афонин, В. Л. Интеллектуальные робототехнические системы / В.Л. Афонин, В.А.Макушкин. – М.: Интернет-университет информационных технологий - ИНТУИТ.ру, 2005. – 208 с. – ISBN 5-9556-0024-8.
3. Афонин В. Л. Управление технологическими роботами и гибкими модулями / В.Л. Афонин [и др.]. – М.: Наука,1992. – 143 с. – ISBN 5-02-006653-2.
4. Благовещенская, М. М. Информационные технологии систем управления технологическими процессами: учеб. для вузов / М.М. Благовещенская, Л. А. Злобин. – М.: Высш. шк., 2005. – 768 с. – ISBN 5-06-004863-2.
5. Вороновский, Г. К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский [и др.]. – Харьков.: ОСНОВА, 1997. – 112 с. – ISBN 5-7768-0293-8.
6. Глинкин, Е. И. Микропроцессорные средства : монография / Е.И. Глинкин, Б.И. Герасимов. –2-е изд., испр. – Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2007. – 144 с. – ISBN 978-5-8265-0634-9.
7. Иванов, В. М. Электроприводы с системами числового программного управления: учеб. пособие / В.М. Иванов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 152 с. – ISBN 5-89146-829-8.
8. Кобзев, А. А. Формирование траекторных перемещений: лаб. практикум по курсу «Проектирование систем управления» / А.А. Кобзев [и др.]. Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1998. – 68 с. – ISBN 5-89368-097-9.
9. Конюх, В. Л. Компьютерная автоматизация производства: В 2 ч. Ч. 1. – Кемерово: КузГТУ, 2003. – 118 с. – ISBN 5-89070-271-8.
10. Конюх, В. Л. Компьютерная автоматизация производства: В 2 ч. Ч. 2. – Кемерово: КузГТУ, 2003. – 104 с. – ISBN 5-89070-272-6.
11. Ловыгин, А. А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система / А.А. Ловыгин, А.В. Васильев, С.Ю. Кривцов. – М.: Эльф ИПР, 2006. – 286 с. – ISBN 5-900891-60-7.

12. Нильсон, Н. Принципы искусственного интеллекта / Н. Нильсон. – М.: Мир, 1985. – 374 с.

13. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. – 320 с. – ISBN 5-7038-1962-8.

14. Самсонов, Ю. И. Автоматизированное проектирование технологических процессов механической обработки заготовок на станках с ЧПУ: учеб. пособие / Ю.И. Самсонов [и др.]. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 84 с. – ISBN 5-89146-132-3.

15. Сосонкин, В. Л. Системы числового программного управления: учеб. пособие / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос, 2005. – 296 с. – ISBN 5-98704-012-4.

Учебное издание

Рассказчиков Николай Геннадьевич

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Подписано в печать 29.01.10.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 9,75. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.