

ДЛЯ ВУЗОВ

А.Ю. Выжигин

ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и оптоэлектроники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 – Приборостроение и специальности 200107 – Технология приборостроения



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2009

УДК 621.38:621.86

ББК 34.5

В92

Рецензенты:

Д-р техн. наук, профессор С.-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики *В.А. Валетов*; д-р техн. наук, профессор Московского государственного индустриального университета, Заслуженный деятель науки РФ *О.В. Таратынов*.; д-р техн. наук, профессор Московского государственного открытого университета *Н.М. Капустин*; канд. техн. наук, С.-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики *Ю.П. Кузьмин*

Выжигин А.Ю.

В92 Гибкие производственные системы: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2009. 288 с.; ил.

ISBN 978-5-94275-434-1

В учебном пособии дано общее представление об организации и элементах ГПС, рассмотрена производственно-техническая структура и основные элементы гибких автоматизированных производств, критерии гибкости ГПС, приведена классификация промышленных роботов и их приводов. Рассмотрены типы и технические средства транспортно-накопительных систем, технические средства и системы управления автоматическими транспортно-накопительными системами. Рассмотрены различные типы складов, методика расчета функционирования складской системы. Описаны системы управления ГАП и системы автоматического контроля, приведены примеры реализации ГПС. Также показаны основные средства автоматизации и пути повышения производительности оборудования в условиях автоматизированного производства. Дополнительно рассмотрены методики расчета динамики некоторых типов пневматических приводов промышленных роботов и их применение в автоматизированном комплексе для многопереходной штамповки.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности "Технология приборостроения". Представляет интерес для широкого круга специалистов.

УДК 621.38:621.86

ББК 34.5

ISBN 978-5-94275-434-1

© А.Ю. Выжигин, 2009

© "Издательство Машиностроение", 2009

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	6
Введение	8
Глава 1. Развитие гибких производственных систем и области их применения	10
1.1. Производственно-техническая структура и основные элементы гибких автоматизированных производств	15
1.1.1. Категории гибкого производства	21
1.2. Критерии гибкости в ГПС	30
1.3. Структурно-компоновочные схемы ГПС для механической обработки	39
<i>Контрольные вопросы</i>	44
Глава 2. Промышленные роботы	45
2.1. Требования, предъявляемые к промышленным роботам	45
2.2. Технологическая классификация промышленных роботов	47
2.2.1. Типоразмерные ряды промышленных роботов	63
2.3. Манипуляционные устройства роботов	70
2.4. Приводы промышленных роботов	78
2.4.1. Назначение приводов и особенности применения	78
2.4.2. Электрогидравлические приводы	79
2.4.3. Пневматические приводы	80
2.4.4. Электропривод	81
2.4.5. Проектирование пневматических приводов ПР	83
2.4.6. Электрогидравлические приводы ПР	88
2.4.7. Электроприводы промышленных роботов	97
2.4.8. Элементы электропривода	98
2.4.9. Методика выбора электрических двигателей	102
<i>Контрольные вопросы</i>	106

Глава 3. Автоматические транспортно-накопительные системы гибких автоматических производств	107
3.1. Типы транспортно-накопительных систем	107
3.2. Технические средства автоматических транспортно-накопительных систем	116
3.3. Системы управления автоматических транспортно-накопительных систем	120
<i>Контрольные вопросы</i>	123
Глава 4. Склады гибких производственных систем	124
4.1. Классификация складов	124
4.2. Расчет состояний складской системы	142
<i>Контрольные вопросы</i>	144
Глава 5. Системы управления производством	145
5.1. Управление ГАП	145
5.2. Управление ГПС	156
5.3. Примеры реализации ГПС	165
5.4. Гибкие производственные модули	175
5.4.1. Технические характеристики ГПМ	177
5.5. Типовые схемы компоновки роботизированных технологических модулей и ГПС	188
5.5.1. Основные схемы планировки роботизированных технологических комплексов, используемых автономно или в составе ГПС	188
5.5.2. Схемы планировки ГПС для механообработки в соответствии с типом применяемых АТСС	195
5.5.3. Серийные автоматизированные системы "Талка"	199
<i>Контрольные вопросы</i>	201

Глава 6. Система автоматического контроля гибких автоматизированных производств	202
6.1. Классификация видов контроля	202
6.2. Структура системы автоматического контроля	203
6.3. Основные средства контроля	214
<i>Контрольные вопросы</i>	222
Глава 7. Средства автоматизации и пути повышения производительности листовой штамповки в условиях автоматизированного производства	223
7.1. Основные средства автоматизации для листовой штамповки	223
7.2. Пути повышения производительности автоматизированных устройств листовой штамповки	233
7.3. Повышение быстродействия устройств автоматизации листовой штамповки	239
7.4. Теория пневматических приводов	242
7.5. Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки	244
<i>Контрольные вопросы</i>	253
Приложения	254
Приложение I. Основные уравнения для расчета динамических характеристик пневматического привода	254
Приложение II. Динамика и кинематика пневматического привода с использованием линейного ускорителя	257
Приложение III. Расчет пневматического привода с вращательно-поступательным движением поршня	269
Приложение IV. Расчет пневматического привода с наложением магнитного ускорителя	276
Приложение V. Расчет пневматического привода с вибрационным сервоприводом	280
Список литературы	285

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АД	– асинхронные двигатели
АО	– автооператоры
АПД	– аппаратура передачи данных
АПЛ	– автоматическая поточная линия
АСТПП	– автоматизированная система технологической подготовки производства
АСУ	– автоматизированная система управления
АСУОТ	– автоматизированная система организационно-технологического управления
АСУП	– автоматизированная система управления производством
АСУТП	– автоматизированная (автоматическая) система управления технологическими процессами
АТЕ	– автоматический тестер
АТНС	– автоматизированная транспортно-накопительная система
АТСС	– автоматизированная транспортно-накопительная складская система
АЦП	– аналого-цифровой преобразователь
ГАП	– гибкое автоматизированное производство
ГАУ	– гибкий автоматизированный участок
ГАЦ	– гибкий автоматизированный центр
ГОМ	– гибкий обрабатывающий модуль
ГОЯ	– гибкая обрабатывающая ячейка
ГПК	– гибкий производственный комплекс
ГПЛ	– гибкая производственная линия
ГПМ	– гибкий производственный модуль
ГПС	– гибкая производственная система
ГПЯ	– гибкая производственная ячейка
ГСП	– государственная система приборов
ГТК	– гибкий технологический комплекс
ГТМ	– гибкий транспортный модуль
ГТУ	– гибкий технологический участок
ИИС	– информационно-измерительная система

ИТО	– инженерно-технологическая и инструментальная подготовка и оперативное обеспечение производства
КИМ	– координатно-измерительная машина
КПД	– коэффициент полезного действия
КСУ	– компьютеризованная система управления
КУДК	– компьютеризованный управляющий диспетчерский комплекс
ЛВС	– локальная вычислительная сеть
МДС	– магнитодвижущая сила
МОЦ	– многономенклатурные обрабатывающие центры
ОЦ	– обрабатывающий центр
ПО САК	– программное обеспечение системы автоматического контроля
ПР	– промышленный робот
ПТ	– постоянного тока (электродвигатели)
РТК	– робототехнический комплекс
САПР	– система автоматизированного проектирования
САК	– система автоматического контроля
СИО (АСИО)	– система инструментального обеспечения (автоматическая или автоматизированная)
СМ	– складской модуль
СОЖ	– смазывающе-охлаждающая жидкость
ТОР	– техническое обслуживание и планово-предупредительный ремонт технических средств
ТОЦ	– токарный обрабатывающий центр
ТСК	– транспортно-складской комплекс
УВК	– управляющий вычислительный комплекс
УПУ	– устройство программного управления
УСО	– устройство сопряжения с объектом
ЧПУ	– числовое программное управление
ШД	– шаговые двигатели
ЭАС	– элементарная автоматическая система
ЭВМ	– электронно-вычислительная машина

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства в машиностроении – комплексная задача, связанная с созданием нового современного оборудования, технологических процессов, систем организации производства и управления им. Автоматизация обеспечивает повышение производительности труда, улучшение его условий, сокращение потребности в рабочей силе и снижение уровня производственного травматизма.

Специфичность современных задач автоматизации производства определяется тем, что в результате углубляющегося разделения труда, роста поддетальной и технологической специализации снижается роль массового и крупносерийного производства.

Для решения поставленных задач в серийном производстве должны быть созданы условия, отвечающие крупносерийному производству, а по гибкости и приспособляемости – серийному производству. Сближение возможностей производств этих типов происходит на базе станков с *числовым программным управлением* (ЧПУ), широкого внедрения вычислительной техники, создания систем адаптивного управления процессом изготовления деталей на металлорежущих станках, внедрения в производство технологии групповой обработки деталей. Однако эффективность от этого внедрения может быть достигнута только при комплексном подходе – путем объединения станков и создания гибких перенастраиваемых систем, управляемых от ЭВМ и позволяющих автоматизировать трудоемкие процессы технологической подготовки производства, осуществлять оперативное планирование, диспетчеризацию, учет заготовок (деталей), управлять основным и вспомогательным оборудованием.

В настоящее время удовлетворительно автоматизированы массовое и крупносерийное производство. Для решения задач автоматизации серийного и единичного производств промышленной продукции традиционные принципы и методы автоматизации малопригодны в силу узкой ориентации станков, автоматических и поточных линий на изготовление определенного типа изделий.

В целях разрешения противоречий, обусловленных с одной стороны мелкосерийностью производства, а с другой – крупными масштабами самого производства, в настоящее время внедряются в практику переналаживаемые *гибкие автоматизированные производства* (ГАП). Интенсификация технологических процессов и снижение себестоимости изготовления изделий в гибких производствах осуществляется за счет комплексного применения высокоэффективных обрабатывающих центров, машин, оборудования, приборов, промышленных роботов и манипуляторов, унифицированных технологических процессов, обеспечивающих автоматизацию всех процессов производства, а также использование микропроцессоров и микроЭВМ в управлении переналаживаемым гибким автоматизированным производством.

Дисциплина «Гибкие производственные системы в приборостроении» является одним из завершающих этапов в технологической подготовке студентов по специальности 200107 (191000) «Технология приборостроения».

Целью дисциплины является изучение теоретических основ гибкой автоматизации в приборостроении, принципов построения ее технологических средств, их проектирования, расчета, обоснованного выбора и эффективной эксплуатации.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность М.А. Крючкову, Е.И. Семенову, а также коллегам МГУПИ и МГТУ им. Н.Э. Баумана, оказавшим помощь и поддержку в издании данной книги.

Глава 1

РАЗВИТИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Тенденция перехода к автоматизированному производству затронула отрасли машиностроения и приборостроения. В основе автоматизации процессов лежит частичное или полное отстранение человека от непосредственного участия в производственном процессе. В современных условиях прогрессивным может быть только такое производство, которое способно учитывать изменение спроса заказчиков и быстро переходить на выпуск новой продукции. В результате удается избежать выпуска не находящей спроса продукции и бесполезного расходования ресурсов. Развитие автоматизации на ранних этапах характеризовалось отсутствием мобильности, динамичности – создавались жесткие автоматические линии, предназначенные для массового производства (срок окупаемости таких линий не менее 8 – 10 лет). Однако единичное и мелкосерийное производство оставались практически неавтоматизированными. Именно поэтому возникла принципиально новая концепция автоматизированного производства – *гибкие производственные системы* (ГПС). Начальным этапом формирования направления автоматизации этих типов производств можно считать 1960-е гг., когда впервые было сформулировано понятие "гибкое производство". Под гибкостью станочной системы понимают ее способность быстро перестраиваться на обработку новых деталей в пределах, определяемых техническими возможностями оборудования и технологией обработки группы деталей. Высокая степень гибкости обеспечивает более полное удовлетворение требований заказчика, оперативный переход к выпуску новой продукции, сохранение оправданного характера мелкосерийного производства, автоматизацию технологической подготовки производства на базе вычислительной техники, снижение затрат на незавершенное производство.

В настоящее время назрела необходимость обеспечить реконструкцию и развитие машиностроительного комплекса как основу эффективного развития всей экономики. Для интенсификации производства во многих отраслях промышленности, в том числе и в машиностроении, большое значение имеет широкое внедрение гибких переналаживаемых производственных систем, автоматизированного проектирования высокоэффективного технологического оборудования с встроенными средствами управления и контроля на базе вычислительной техники. Быстрое развитие этих направлений автоматизации производства во многом определяет темпы технического перевооружения отечественного машиностроения, приборостроения и других отраслей промышленности.

В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Коэффициент закрепления операции представляет собой отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест.

Коэффициент закрепления операций [ГОСТ 30286–94. Роботы промышленные. Представление характеристик.] принимают равным:
для мелкосерийного производства – св. 20 до 40 вкл.;
для среднесерийного производства – св. 10 до 20 вкл.;
для крупносерийного производства – св. 1 до 10 вкл.

Для единичного и мелкосерийного производства характерны большая номенклатура и малый объем выпуска, вплоть до индивидуального (производство турбин, ремонтные мастерские, металлургическое, горное оборудование, индивидуальные заказы).

Серийное производство связано с большой номенклатурой продукции (тяжелое машиностроение, судостроение, авиастроение, строительное-дорожное, химическое, полиграфическое и другие отрасли промышленности) [ГОСТ 14.004–83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий].

Массовому и крупносерийному производствам свойственна ограниченная номенклатура (автомобильное, сельскохозяйственное машиностроение, производство подшипников, инструмента, часов, электронных элементов и др.).

Единичное производство характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматривается (ГОСТ 14.004–83).

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями.

Массовое производство характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция.

Упрощенно характеристики видов производств представлены в табл. 1.1.

Если определение типа производства ранее было четким, то в настоящий момент оно исчезает (расширение номенклатуры выпускаемой продукции постепенно распространяется на массовое производство, например, на автомобилестроение, где на основе базовой модели выпускают многочисленные модификации).

В настоящее время определились два противоречивых требования к современному промышленному производству: с одной стороны, сокращение сроков подготовки производства и выпуска, а также серийности промышленной продукции, с другой – уменьшение трудоемкости изготовления и стоимости при высоком качестве продукции.

Удовлетворение первого требования предусматривает увеличение универсальности оборудования и систем управления, позволяющих быстро переходить на изготовление новой продукции.

Второе требование связано с необходимостью комплексной автоматизации производства, которая в настоящее время ассоциируется с применением технологического оборудования с программным управлением и ЭВМ на различных уровнях управления – от непосредственного управления оборудованием до управления финансовой деятельностью предприятия.

В относительном противоречии этих требований в большой степени и заключаются трудности создания современного эффективно функционирующего производства. Чтобы удовлетворить противоречивым требованиям, необходимо придать производству ряд определенных свойств:

1.1. Характеристики видов производств

Показатель производства	Тип производства		
	Единичное и мелкосерийное	Серийное	Массовое и крупносерийное
Удельный вес в выпуске продукции, %	75...80		20...25
Уровень специализации	Единичные изделия	Низкий (малые партии деталей, частые переналадки оборудования)	Высокий (большие или непрерывные партии деталей, постоянное закрепление операций за рабочими местами)
Уровень автоматизации производственных процессов	Менее 5	10	60...85
Техническая база автоматизации	Универсальное оборудование и приспособления, стандартный измерительный и режущий инструмент, упрощенная маршрутная технология со значительным объемом размоточных и пригоночных работ	Универсальное или специальное оборудование с ЧПУ, производственные автоматоты и группы автоматот, управляемых от ЭВМ	Специальное или специализированное оборудование, автоматические линии с жестким программированием (с цикловой автоматотой)
Эффективность производства	Низкая, высокая себестоимость	Невысокая	Высокая
Квалификация персонала	Высокая	Средняя	Низкая

- гибкость и маневренность, т.е. способность быстро перестраиваться на выпуск новой продукции;
- высокий технический уровень и хорошую оснащенность новыми технологиями и оборудованием, позволяющими выпускать изделия высокого качества;
- экономичность, обеспечивающую приемлемую для рынка продажную цену продукции, а следовательно, минимальные затраты на ее производство, экономию всех видов ресурсов.

Эффективным средством реализации указанных свойств является широкое применение ГПС, управляемых от ЭВМ и работающих по принципу гибко перестраиваемой технологии.

Гибкая производственная система (ГПС) – это управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний гибких производственных модулей и (или) гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования [ГОСТ 26228–90. Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей]. Другими словами, ГПС представляет собой управляемый с помощью ЭВМ интегрированный комплекс станков с числовым программным управлением (ЧПУ), автоматизированных устройств для перемещения материалов и инструментов и автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, который при минимальном использовании ручного труда и коротком времени, необходимом для перестройки, может обрабатывать любые изделия, относящиеся к некоторым конкретным родам изделий в рамках указанных возможностей и на основании предварительно составленного графика.

1.1. ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Гибкое производство (ГОСТ 26228–90) как объект проектирования и управления представляет собой систему нового класса, отличающуюся прежде всего сложностью, комплексностью и многофункциональностью компонентов [2, 5, 7].

Одним из основных требований, обеспечивающих типизацию решений в области *гибких автоматизированных производств* (ГАП), является принцип модульности, в соответствии с которым ГАП komponуют из отдельных типовых модулей и систем.

Ниже приведена классификация структурных звеньев рассматриваемого гибкого автоматизированного производства по уровню иерархической подчиненности и служебного назначения звеньев.

Гибкое автоматизированное производство (ГАП) – производственная часть интегрированного предприятия или самостоятельное предприятие, являющееся совокупностью гибких производственных комплексов (цехового уровня), систем и служб, обеспечивающих взаимодействие и управление всей хозяйственной деятельностью с помощью ЭВМ, нацеленное на реализацию «малолюдной» и «бесбумажной» технологии, способное обеспечить выпуск широкой и постоянно обновляемой номенклатуры изделий, быстро реагирующее на внешние и внутренние возмущения с целью обеспечения работоспособности.

Гибкий производственный комплекс (ГПК) – самостоятельное производственно-техническое структурное подразделение (цехового уровня) в ГАП, состоящее из гибкой производственной системы (ГПС), служб: инженерно-технологической и инструментальной подготовки и оперативного обеспечения производства (ИТО), технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта технических средств (ТОР), а также компьютеризованной системы управления (КСУ ГПК), выполняющей функции оперативного планирования, управления оперативной подготовкой производства, учета, анализа и управления ходом производства.

Гибкая производственная система (ГПС) – производственная часть ГПК, состоящая из одного или нескольких гибких технологических и транспортно-складских комплексов (ГТК и ТСК), объ-

единенных компьютеризованным управляющим диспетчерским комплексом (КУДК), автономно функционирующая в «малолюдном» режиме в течение заданного интервала времени, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей оборудования.

Гибкий технологический комплекс (ГТК) – совокупность однородных по виду технологической обработки или по типу обрабатываемых деталей гибких обрабатывающих модулей и ячеек, объединенных единым транспортным модулем транспортно-складского комплекса и единой компьютерной системой управления и контроля.

Гибкий технологический участок (ГТУ) – организационно-производственное структурное подразделение ГПС, объединяющее несколько ГТК близкого технологического назначения, обслуживаемое, как правило, одной производственной бригадой.

Транспортно-складской комплекс (ТСК) – совокупность взаимосвязанных автоматических транспортных и складских устройств и средств вычислительной техники, предназначенных для организации движения материальных и сопровождающих их информационных потоков в ГПС.

Для транспортно-складских комплексов, базирующихся на применении автономных транспортных и транспортно-манипуляционных роботов, обеспечивающих высокую структурную и функциональную гибкость ГТК, целесообразно использовать термин *гибкий транспортно-складской комплекс (ГТСК)*.

Гибкий обрабатывающий модуль (ГОМ) – автономно функционирующая группа гибких обрабатывающих ячеек, объединенных групповыми локальными (стационарными) автоматическими устройствами загрузки партий заготовок и удаления партий обработанных деталей.

Гибкая обрабатывающая ячейка (ГОЯ) – автономно функционирующая на время обработки партий однородных деталей единица оборудования, оснащенная автоматическими устройствами (роботами) для загрузки заготовок и удаления обработанных деталей, накопителями деталей, имеющая возможность автоматизированной переналадки на различные изделия ограниченного класса.

Гибкий транспортный модуль (ГТМ) – составная часть транспортно-складского комплекса, представляющая собой совокупность стационарных и подвижных роботов, трасс, причальных устройств, устройств командообмена и внешнего энергообеспечения, а также стационарных и подвижных буферных накопительных устройств, предназначенная для организации транспортных связей гибких технологических модулей и ячеек со складским модулем, временного накопления предметов труда, а также удаления отходов.

Складской модуль (СМ) – составная часть транспортного модуля, предназначенная для хранения и учета, выдачи и приема заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий, инструмента или технологической оснастки, а также формирования комплектов из них в процессе подготовки производственных заданий.

Опыт создания различных ГПС показывает, что варианты компоновки ГТК можно подразделить на следующие виды:

- с продольным расположением ГОЯ относительно транспортной магистрали;
- с поперечным расположением ГОЯ;
- с кольцеобразным расположением ГОЯ относительно терминального узла транспортной системы (рис. 1.1).

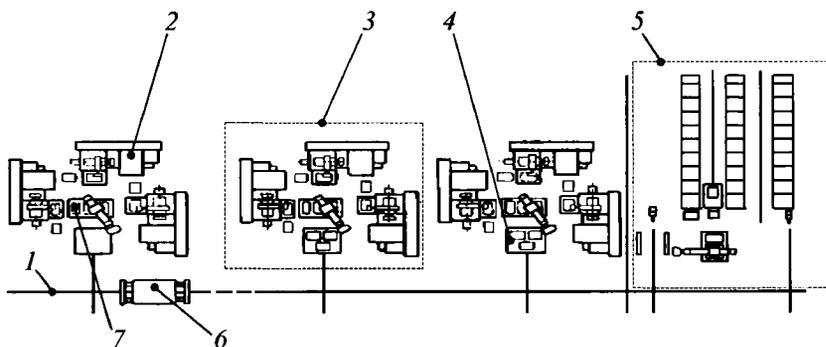


Рис. 1.1. Пример схемы ГПС с кольцеобразным расположением ГОЯ, сгруппированных в модули:

- 1 – транспортная магистраль; 2 – ГОЯ; 3 – кольцевая ячейка ГОЯ относительно 7; 4 – транспортный поддон; 5 – автоматический склад; 6 – транспортный робот; 7 – групповой промышленный робот

Основные фазы функционирования ГПС с кольцевым расположением ГОЯ (см. рис. 1.1, поз. 3) рассмотрим на примере одного модуля.

1-я фаза – начальная загрузка модуля пакетом кассет с заготовками. Транспортный робот на поддоне доставляет со склада стопки кассет (по числу обрабатываемых ячеек в модуле).

2-я фаза – загрузка обрабатываемых ячеек первыми кассетами. Групповой промышленный робот последовательно перегружает верхние кассеты со стопок на приемные столы соответствующих обрабатываемых ячеек и дает команду на начало обработки.

3-я фаза – перегрузка оставшихся кассет с заготовками на буферные накопители. В результате транспортный поддон освобождается для приема кассет с обработанными деталями.

4-я фаза – прием на транспортный поддон кассет с обработанными деталями и загрузка обрабатываемых ячеек с новыми заготовками. Эта фаза завершается перед началом обработки последней кассеты одной из ячеек.

5-я фаза – вызов транспортного робота, отправление транспортного поддона с обработанными деталями на склад, разгрузка кассет с поддона, загрузка его кассетами с заготовками для ячейки, обрабатывающей последнюю кассету предыдущей партии, доставка их к обрабатываемому модулю.

6-я фаза – перегрузка стопки кассет на буферный накопитель обслуживаемой ячейки.

ГТК-1 (рис. 1.2) предназначен для обработки осесимметричных деталей средней сложности и точности, малой партии. Для него характерен тип компоновки, при котором обрабатывающий модуль образуется из трех гибких обрабатываемых ячеек 1, сгруппированных вокруг обслуживающего их робота 2. Кроме того, в состав модуля входят три промежуточных (буферных) накопителя 3. Причал для транспортного робота с устройствами командообмена является терминальным устройством транспортной системы. Доставку заготовок со склада и деталей на склад осуществляют в транспортной таре на поддоне посредством транспортного робота.

Для сравнения производительности рассмотрим гибкую производственную линию (ГПЛ) и автоматическую поточную линию (АЛП). В линию входит восемь типовых гибких производственных

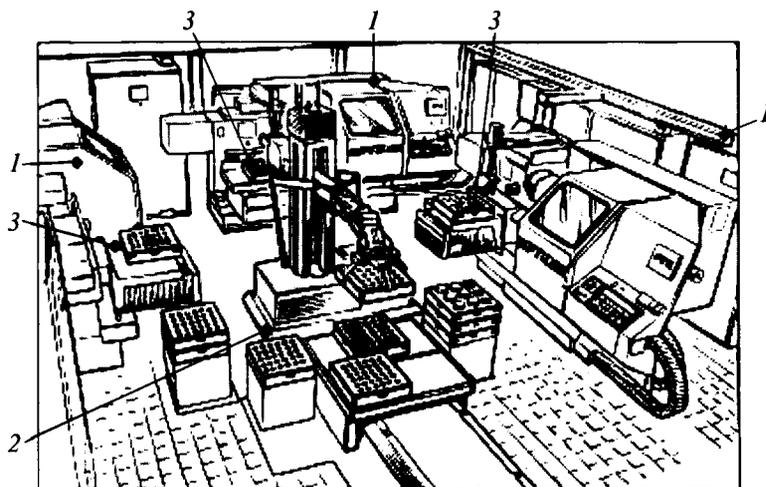


Рис. 1.2. Общий вид ГТК-1:

1 – ГОЯ; 2 – обслуживающий робот; 3 – промежуточные буферные накопители

модулей (ГПМ) из станков типа обрабатывающий центр с системами ЧПУ, в том числе четыре многооперационных 5-координатных станка, три многооперационных 6-координатных станка и один 5-координатный станок для сверления глубоких отверстий.

Подачу заготовок на станки ГПЛ осуществляют автоматически из стеллажа-накопителя спутников посредством штабелеров автоматизированной транспортно-складской системы и автоматических агрегатов загрузки, расположенных около станков линии. Штабелер осуществляет: подачу спутников с заготовками в стеллаж-накопитель спутников с позиции загрузки; подачу обработанных деталей на спутниках из стеллажа-накопителя спутников на позицию разгрузки и на позицию контроля.

Подачу инструмента в магазин станков из стационарного склада-накопителя и вывод из станков инструмента (изношенного, поломанного или затупившегося) по заданной программе обработки осуществляют автоматически роботами-автооператорами системы инструментального обеспечения. В результате время перехода на обработку различных деталей не превышает 20 с.

Управляет работой станков линии, системами АТСС* и СИО** управляющий вычислительный комплекс, расположенный в специальном помещении.

На линии мод. АЛП-3-2 частично автоматизирована инженерная подготовка производства (технологические процессы и все управляющие станками программы обработки разрабатываются на ЭВМ).

Для оценки экономической эффективности целесообразно сравнить ГПЛ механообработки АЛП-3-2 (рис. 1.3) и участок

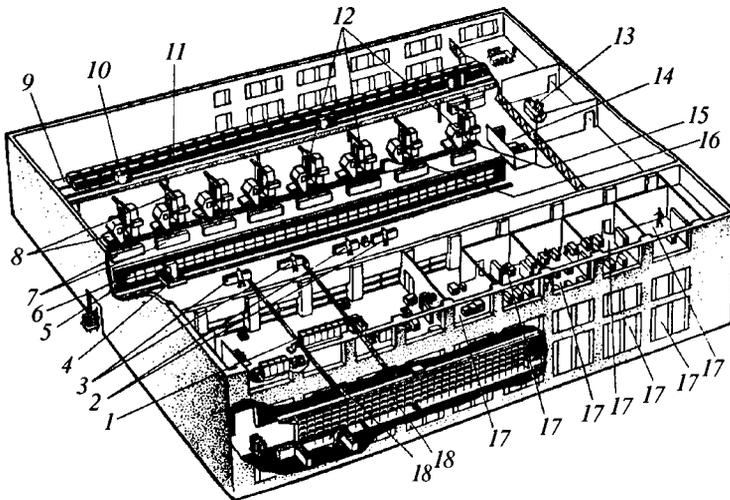


Рис. 1.3. Гибкая автоматизированная линия АЛП-3-2:

1 – участок комплектации; 2, 3 – позиции разгрузки и контроля; 4 – штабелер; 5 – стеллаж-накопитель спутников; 6 – ячейки стеллажа; 7 – агрегаты загрузки; 8 – многооперационные 5-координатные станки с ЧПУ; 9 – системы инструментального обеспечения; 10 – робот-автооператор; 11 – инструментальный склад; 12 – многооперационные 6-координатные станки с ЧПУ; 13, 14 – пульты оператора; 15 – транспортная линия; 16 – 5-координатный станок для сверления глубоких отверстий; 17 – управляющий вычислительный комплекс; 18 – склады заготовок и комплектующих изделий

* АТСС – автоматизированная транспортно-складская система.

** СИО (АСИО) – система инструментального обеспечения (автоматическая или автоматизированная).

автономно работающих 16 станков с ЧПУ типа обрабатывающий центр, выпускающих одно и то же число одинаковых деталей (6600 сложных в обработке корпусов гидроагрегатов 50 разных наименований) в год.

ГПС существенно различаются в отношении типов применяемых станков, их числа, управляющей системы и капитальных затрат.

1.1.1. Категории гибкого производства

Гибкий производственный модуль или блок (ГПМ, ГПБ) – единица технологического оборудования, автоматически осуществляющая технологические операции в пределах его технических характеристик, способная работать автономно и в составе ГПС или ГПЯ. ГПМ обычно и представляет собой одностаночную систему, например обрабатывающий центр, оборудованный магазином для палет, автоматическим устройством для смены палет или роботом и автоматическим устройством для смены инструментов. Этот блок может частично функционировать без участия человека. В средства автоматизации ГПМ в общем случае входят:

- устройство ЧПУ для автоматизации последовательности действий рабочих органов технологического оборудования, включая смену заготовок, изделий, инструмента, подачу СОЖ, удаление отходов и переналадки;
- устройство адаптивного управления для автоматизации регулирования параметров технологического процесса при изменении условий его выполнения;
- устройство контроля и измерения во время или после операции для автоматизации подналадки оборудования;
- устройство диагностики оборудования для автоматизации выявления и устранения неисправностей.

Гибкая производственная ячейка (ГПЯ) – совокупность нескольких гибких производственных модулей и систем обеспечения функционирования, управляемая средствами вычислительной техники, осуществляющая комплекс технологических операций, способная работать и автономно, и в составе гибких производствен-

ных систем при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструментов.

Гибкая производственная ячейка является системой, состоящей из двух или более станков, магазинов для палет и устройств для автоматической смены палет и инструментов для каждого станка. Все станки, а также операции, выполняемые ячейкой, управляются одной ЭВМ системы прямого ЧПУ.

ГПС – система, состоящая из двух или более ГПЯ, связанных автоматической системой транспортировки (автоматизированные транспортные средства, краны, управляемые от ЭВМ и т.д.), которая перемещает палеты, детали и инструменты между станками, а также детали и инструменты на склад и из него. Вся система управляется ЭВМ системы ЧПУ, которая обычно связана с главной ЭВМ завода (рис. 1.4).

В ГПС можно автоматизировать все технологические операции, поэтому обеспечивается достижение наиболее высокой производительности. Так, в ГПС механообработки помимо обработки детали по заданной программе автоматизированы операции подачи на станки заготовок и удаление обработанных деталей операции, смены режущих и измерительных инструментов, контроля качества обработки деталей, транспортирования заготовок из склада к станкам и обработанных деталей от станков в склад, отвода стружки от станков и подачи СОЖ, смены программ обработки. Отличительной особенностью ГПС по сравнению с традиционными автоматическими линиями массового производства является их гибкость, т.е. возможность быстро автоматически переоборудоваться на обработку новых (других) деталей в пределах технических возможностей оборудования. Это обеспечивается широким применением в ГПС современного управляемого технологического оборудования, микропроцессорных управляющих вычислительных средств, робототехнических систем, средств автоматизации проектно-конструкторских, технологических и планово-производственных работ.

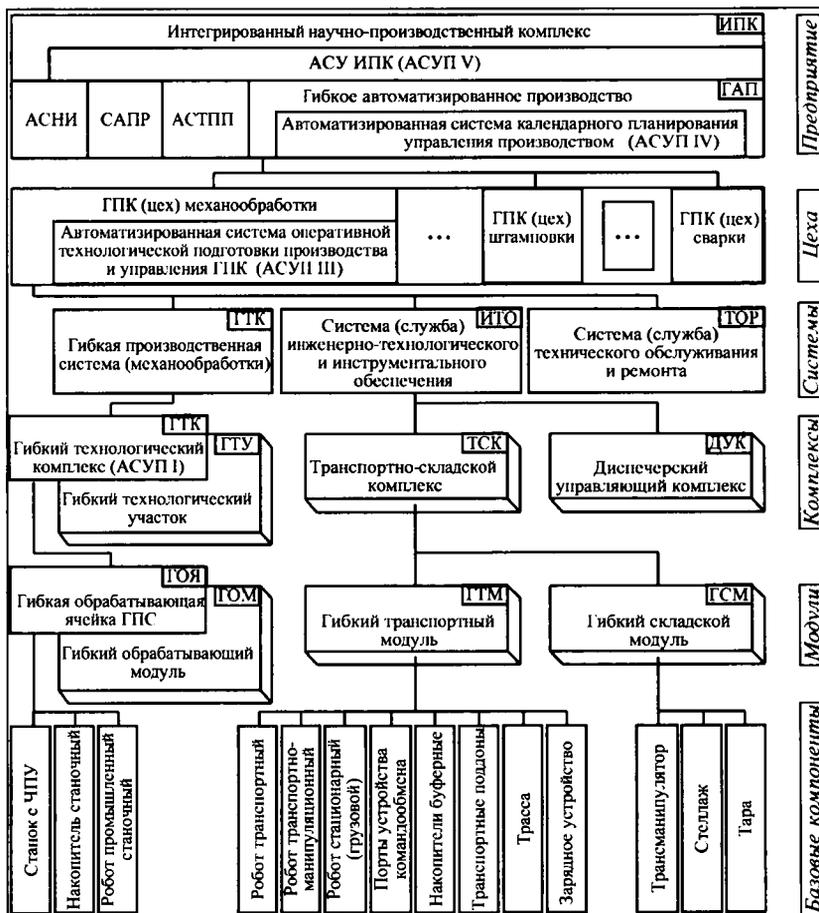


Рис. 1.4.Обобщенная структура ГПС

В СССР была подготовлена достаточно мощная технологическая база для развития ГПС: выпускались автоматические станочные линии, станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, средства автоматизации и приборы, вычислительная техника (в том числе и

микропроцессоры), а парк промышленных роботов превысил 40 тыс. шт. В стране действовало более 3300 автоматических систем управления технологическим процессом (АСУТП). Станкостроительная промышленность начала выпускать промышленно-серийные ГПС на базе обрабатывающих центров и гибкоперенастраиваемых автоматических линий. Подготовлено значительное число специалистов по исследованию, разработке и эксплуатации вышеуказанных технических средств.

Хронологически развитие ГПС делится на несколько периодов.

I период (1960–70-е гг.) – разработка и проверка базисных принципов технологии будущего. Продуктом этого периода являются такие новинки, как промышленный робот, обрабатывающий центр, микропроцессоры, автоматизированное рабочее место проектировщика (АРМ) и другие достижения.

II период (1980-е гг.) – разработка и создание элементной техники и технологии. Этот период характеризуется первыми попытками реализовать методологию локально-комплексной автоматизации производства. В этот период возникли робототехнические комплексы (РТК), гибкие модули и участки. В экспериментальном порядке появились гибкие цеховые структуры.

III период (1990-е гг.) – разработка и создание системных комплексов гибкого производства. В этот период по прогнозам специалистов должны были появиться заводы-автоматы с гибкой технологией и высоким уровнем машинного интеллекта управления производством.

По состоянию на последнее десятилетие XX века в мире было создано несколько десятков тысяч ГПС типа ГПМ, РТК, РТЯ и свыше 350 действующих интегрированных ГПС. Более 60 ГПС действовали в СССР. Мировой опыт разработки и внедрение ГПС наглядно продемонстрировал жизнеспособность концепции ГПС как высокоинтенсивной и вместе с тем трудосберегающей формы производства.

Как по зарубежным, так и по отечественным данным даже далеко не самые совершенные ГПС позволяют:

- увеличить в среднем коэффициент использования оборудования на 30 %;
- уменьшить простои оборудования на 40 %;
- снизить стоимость единицы продукции на 10 %;
- уменьшить потребность в персонале на 30 %;
- обеспечить поточное изготовление единичных партий изделий, поступающих в случайном порядке при номенклатуре нескольких десятков единиц.

Наибольшее распространение ГПС получили в механообработке. Здесь сформировались типичные структуры – модули, объединяемые в линии или участки с помощью транспортно-складских систем. Состав модуля обычно включает обрабатывающий центр, накопитель палет или кассет и средства числового программного управления. Однако распространение ГПС в механообработке неравномерно. Преимущественное развитие получила обработка корпусных деталей, затем обработка тел вращения и обработка листовых материалов. Такое предпочтение определяется главным образом временем технологического цикла обработки: для корпусных деталей оно наибольшее, что уменьшает необходимость в накоплении большого количества деталей на входе в модуль. Достигнута длительность без операторной работы модулей для корпусных деталей до одной смены, а повышение производительности труда до 200...300 %.

Основные проблемы для ГПС корпусных деталей связаны с расширением номенклатуры продукции, которое повышает требования к разнообразию инструмента и необходимому запасу палет. В модулях для тел вращения из-за уменьшения периодов обработки повышаются требования к создаваемым на входе запасам деталей и увеличиваются затраты на загрузку и разгрузку станков. Главное внимание в ГПС для тел вращения сконцентрировано на разработке универсальной оснастки и загрузочно-разгрузных устройств.

Гораздо сложнее, чем механообработка, с помощью ГПС осваиваются сборочные технологии (5 % от общего количества действующих ГПС), что прежде всего обусловлено особенностями сборочных процессов:

- сложностью, разнообразием объектов сборки и необходимой для сборки оснастки;
- коротким циклом операций сборки (иногда доли секунды);
- нежесткостью или упругостью деталей;
- необходимостью в настройке, подгонке и учете малых допусков в сочленениях деталей.

Если в ГПС механообработки главной компонентой является обрабатывающий центр, то для сборочных ГПС большое значение имеют промышленные роботы, обеспечивающие универсальность и гибкость сборочного оборудования.

В процессах сборки требуются роботы с развитой сенсорикой и достаточно высоким уровнем машинного интеллекта, что влияет на повышение уровня затрат при создании ГПС сборки. Поскольку роботы с интеллектуальными средствами управления еще не получили широкого распространения, то приходится резко повышать затраты на периферийное оборудование и оснастку, создавая условия для применения более простых роботов. При этом стоимость оснастки и периферии составляет значительную часть (до 70 %) от общей стоимости сборочного модуля. В других технологиях ГПС используют в следующем соотношении: для обработки давлением – 21 %, для сварки – 12 %; для остальных технологий – 12 %.

Следует отметить, что ГПС не могут заменить все традиционные виды производств, их области применения широки, но вместе с тем не беспредельны. На рис. 1.5 (см. с. 29) показаны зоны наиболее эффективного применения разных видов автоматизации в зависимости от размеров партий однотипных деталей и разнообразия номенклатуры производимой продукции для приборостроения.

При больших размерах партий однотипных деталей выгодно использовать жесткие автоматические и роторные линии станков.

Промежуточное положение между массовым и индивидуальным видами производства занимают ГПС. Их выгодно использовать при размерах партии в несколько сотен штук в разнообразии номенклатуры от единиц до сотен разных деталей. Перечень технологических процессов и операций в ГПС представлен в табл. 1.2.

1.2. Применимость различных технологических процессов и операций в ГПС

Технологический процесс или операция	Примерный объем партии, шт	Примерное время цикла	Применимость в ГПС
Механическая обработка лезвийным инструментом	1...1000	1...20 ч	Полная
	> 1000	20...100 ч	Полная, но с возникновением проблем при загрузке-разгрузке и транспортировании
	Св. 1000	1...10 мин	Достаточная при наличии хорошей системы загрузки-разгрузки и транспортирования и широкой номенклатуры
	Св. 1000	0,3...1 мин	Недостаточная: обычно более применимо сочетание жесткой автоматизации и некоторой гибкости
Круглое шлифование Плоское шлифование	1...1000	—	Полная
	Св. 2000	Любое	Создание ГПС в полном объеме затруднено из-за сложности получения достаточной экономической эффективности
Прессование	До 2000	—	Существуют некоторые возможности
	До 10000	Любое	Полное
Вырубка и фальцовка	Любой	Не более 2 мин	Для создания ГПС требуется дорогостоящая жестко автоматизированная инструментальная оснастка
Сварка			

Окончание табл. 1.2

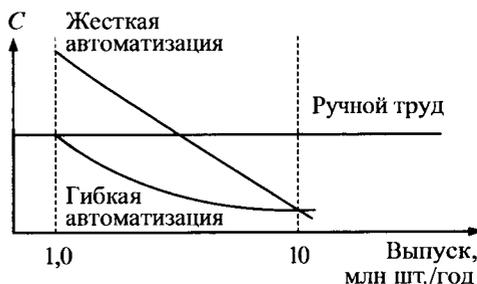
Технологический процесс или операция	Примерный объем партии, шт	Примерное время цикла	Применяемость в ГПС
Сварка	Не более 1000	—	Полная, но требуется совершенное оборудование для загрузочно-разгрузочных и транспортных операций
Литье металлов под давлением	Не более 1000	—	Требуется новый подход, однако существуют большие потенциальные возможности
Литье в песчаные формы	Не более 1000	—	Существуют некоторые потенциальные возможности
Ковка и объемная штамповка	Не более 1000	—	Полная
Холодная штамповка	Св. 1000	—	Существуют сложные проблемы, но имеются неплохие потенциальные возможности
Сборка	1...1000	Св. 3 мин	Хорошая
	Св. 1000	20 с ... 3 мин	Полная, но с частичным применением специального оборудования
	Св. 10000	3...20 с	Большие потенциальные возможности при использовании специального оборудования
	Св. 10 000	Не более 3 с	Неприменима
Контрольно-измерительные операции	—	—	Полная: возможны короткие циклы с помощью простых операций

КОМПЛЕКСЫ						
ГПС механообработки с напольной транспортной автоматической тележкой		ГПС механообработки с транспортно- передаточными модулями		ГПС с транспортно- передаточными модулями	Роботизированные участки механообработки и механосборки	ГПС сборки
Производственные модули						
РТК штамповки	РТК резьбона- катывания	РТК механо- обработки	Производственные модули сборки		РТК дуговой сварки	РТК точечной сварки
Агрегаты						
Промышленные роботы и манипуляторы		Транспортно- автоматическая тележка		Транспортные системы	Устройства управления	
Модули						
Модули ПР	Переключачики	Транспортные модули	Столы двухкоординатные		Устройства кассетные	
Элементы						
Элементы пневмоавтоматики		Транспортные каретки	Фиксаторы, отсекатели	Транспортные модули	Элементы электроприводов	

Рис. 1.5. Агрегатно-модульная система автоматизации приборостроения

Если сравнивать по себестоимости единицы продукции в зависимости от объема, готового выпуска (рис. 1.6), то гибкая автоматизация также целесообразна в диапазоне годового выпуска от десятков и сотен тысяч до несколько миллионов; свыше этих цифр выгодно применять жесткую автоматизацию, а при нескольких сотнях деталей в месяц целесообразен ручной труд.

Рис. 1.6. Зависимость себестоимости C единицы продукции от объемов выпуска для ручного и автоматизированного труда



1.2. КРИТЕРИИ ГИБКОСТИ В ГПС

Гибкость, достигаемая путем автоматизации, является основной характеристикой ГПС. В этом контексте гибкость обычно рассматривают как легкость, с которой система может быть переналажена на производство различных деталей. Это является всего лишь одним из критериев гибкости, которую называют *гибкостью применительно к изделиям*. При оценке ГПС используют также и другие важные критерии гибкости.

Гибкость применительно к станкам – легкость, с которой станки системы могут быть переналажены в отношении оснащения инструментами, технологической оснастки, расположения, программ ЧПУ и т.д. в целях обработки деталей.

Гибкость применительно к процессам – способность производить определенную номенклатуру типов деталей при возможном разнообразном использовании различных материалов.

Гибкость применительно к маршруту обработки – способность системы в случае, например, выхода из строя небольших ее частей продолжать функционирование с помощью направления материалов и деталей по альтернативному маршруту обработки. Также подразумевается такой порядок, при котором функции станков, вышедших из строя, могут перениматься другими станками.

Гибкость применительно к объему – способность рентабельной эксплуатации ГПС при различных объемах производства.

Гибкость применительно к расширению – возможность создания системы и ее легкого расширения в случае необходимости на основе создания отдельных блоков.

В широком плане гибкость – это не только переход на изменение условия производства внутри номенклатуры, но и быстрая подготовка новой программы, инструмента, приспособлений, заготовок, требуемых для этого перехода. Поэтому производственная часть в виде автоматизированного комплекса должна быть дополнена автоматизированными участками технологической подготовки производства, решающими вопросы автоматизированного проектирования технологического процесса обработки новой детали, инструмента, приспособлений и управляющих программ, а также

их изготовления, наладки и контроля. В то же время автоматизированный комплекс не может нормально функционировать, если вовремя не будет планироваться его работа, в том числе не будут подготавливаться сменно-суточные задания и выполнение материально-технического обеспечения этих заданий: подготовка соответствующих заготовок, выполнение операций вне комплекса (термообработки, слесарной доработки и т.п.), поставки инструмента, материалов и другое. Для быстрой планированной реализации этих работ необходима связь системы управления автоматизированного комплекса с АСУ предприятия. Таким образом, в своем развитии автоматизированный комплекс или ГПС с гибко перестраиваемой технологией вырастает до гибкого автоматизированного производства (ГАП), включающего три основные автоматизированные части:

- производственный комплекс;
- систему технологической подготовки производства;
- систему управления предприятиями.

Гибкость ГПС отражает также способность системы сохранять в заданных пределах основные параметры (производительность, экономическую эффективность, надежность и точность функционирования и др.) при переходе из одного устойчивого состояния в другое в соответствии с целью: изменение объекта производства [4]. Поэтому можно ввести понятие параметрической (т.е. динамической) гибкости, которая характеризуется показателями переходного процесса в ГПС. К таким показателям относятся время, скорость и точность перехода ГПС в новое устойчивое состояние.

Анализ динамических показателей ГПС позволяет рассматривать гибкость как свойство, обеспечивающее наилучшее качество переходного процесса и поддержание нового состояния в условиях изменения номенклатуры изделий или вывода из работы функциональных компонентов ГПС. Как динамическую техническую систему ГПС можно характеризовать в математической форме входной и выходной функциями, внешним возмущением и временем переходного процесса. Передаточная функция при изменении объекта производства отражает интенсивность изменения выходной

функции системы в зависимости от задаваемой цели. Передаточная функция по внешним воздействиям определяет устойчивость системы к внешним возмущениям в установившемся режиме. Физический смысл запаса устойчивости системы заключается в установлении предельных параметров изделий, при которых их обработка и сборка возможны без дополнительной переналадки или изменения состава компонентов ГПС.

В ГАП интегрируется автоматизированная система управления предприятием (АСУП), система автоматизированного проектирования (САПР), а также автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП). Такая структура ГАП является общей для всех видов производств (механообрабатывающих, литейных, сварочных и т.п.) и единой как для основного производства, так и для цехов и участков подготовки производства.

Высокая гибкость автоматизированных производств, т.е. их способность к быстрой перестройке и переналадке, обеспечиваются:

- связью всех единиц автоматического технологического оборудования в единый производственный комплекс с помощью автоматизированных транспортно-складских систем и автоматизированных участков комплектования;
- использованием и встраиванием микропроцессоров в технологическое оборудование;
- приближением мини- и микроЭВМ с видеотерминалами к рабочим местам всего обслуживающего персонала;
- объединением всех ЭВМ и микропроцессоров в вычислительную сеть промышленного назначения;
- повышением производительности оборудования и труда на основе автоматизации и комплексированием всех средств производства, а также конструкторской и технологической его подготовки;
- унифицированным модульным составом всех производственных компонентов;
- программируемостью технологии, управления и конфигурации всего комплекса технологических средств.

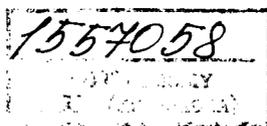
Под организационно-производственной структурой ГПС механообработки понимают:

- заданную номенклатуру обрабатываемых деталей, программу производства и возможные варианты технологического процесса изготовления каждой партии деталей;
- организационный тип производства;
- качественный и количественный состав основного (технологического) и вспомогательного (транспортного, накопительного, манипулирующего, контролирующего и т.д.) оборудования;
- компоновку и размещение оборудования, структуру материальных потоков; стратегию управления системой в целом и отдельными элементами.

Проектирование организационно-производственной структуры ГПС заключается в принятии решений по каждому из указанных пунктов. Сложность этой проблемы состоит прежде всего в многовариантности ее решений, которая возникает из-за большого количества допустимых сочетаний различных технологических процессов не только для разных, но и для одинаковых типов деталей из-за возможности использования различного оборудования. Эти обстоятельства становятся особенно существенными, если учесть высокую стоимость каждой ГПС и, соответственно, те убытки, которые приносят недостаточно обоснованные проектные решения.

На рис. 1.7 приведена укрупненная схема организации проектирования структуры ГПС. Все этапы проектирования допускают автоматизацию на базе математического моделирования и широкого применения средств вычислительной техники.

На этапах предпроектных исследований и составления технического задания, заканчивающихся предварительным экономическим исследованием, технологический процесс и состав оборудования точно не определены; при этом многократно повторяются расчеты по проверке и сопоставлению различных вариантов. Исходные данные для расчетов задаются приближенно в виде предварительных (экспертных) оценок или по аналогии с близкими по типу производствами.



Так как детализация исходных данных на этих этапах проектирования еще невелика, то в расчетах используются главным образом аналитические модели, которые создаются с помощью уравнений баланса потребных и имеющихся мощностей оборудования или с помощью статистических методов теории массового обслуживания. К достоинствам таких моделей относятся доступность понимания их содержания, небольшой объем вводимой информации, невысокие требования к ее точности и малые затраты времени ЭВМ на каждое решение. Естественно, точность моделирования не превышает точности исходных данных.

В моделях баланса мощностей оборудования обычно считаются заданными допустимые диапазоны значений нормативов времени на обработку деталей и эффективные фонды времени работы предполагаемого оборудования ГПС. С этими данными могут быть сформулированы различные задачи, например: определить программу выпуска деталей при заданной структуре оборудования; определить количество оборудования каждого типа, необходимое для выполнения заданной программы производства; выбрать вариант закрепления оборудования для выполнения конкретных технологических операций и т.д.

Модель баланса мощностей оборудования может быть представлена в форме равенства. Тогда она представляет собой алгебраическое уравнение и решение находится обычными алгебраическими методами. Если эта модель представлена системой неравенств, то она дополняется целевой функцией, и рассматривается задача нахождения оптимального решения.

Методы теории массового обслуживания дают возможность учесть среднестатистически динамику поведения производственной системы. Получаемые модели называют моделями сетей очередей, в которых ГПС рассматривается как множество рабочих станций и циркулирующими между ними заявками на обслуживание. Пропускная способность транспортной системы считается неограниченной. Заявки представляют собой отдельно взятые детали или партии деталей, которые образуют очереди к рабочим станциям.

Движение деталей в производстве характеризуется:

- математическим ожиданием числа обработанных деталей в единицу времени;
- среднестатистическим количеством деталей в очереди к каждой рабочей станции;
- математическим ожиданием времени обслуживания одной заявки, которое принимается за среднюю длительность цикла обработки детали; объемом незавершенного производства.

Точность моделирования сетями очередей выше, чем балансовыми методами. Однако математический аппарат существенно сложнее.

На рассматриваемых этапах проектирования структуры ГПС предварительные расчеты позволяют достаточно быстро сделать оценку нескольких вариантов структуры, отобрать из них перспективные для дальнейших исследований, выявить узкие места и приближенно определить их влияние на важнейшие характеристики системы, оценить усредненные потребности в ресурсах.

Эти результаты предоставляют возможность на этапах окончательного проектирования с достаточной точностью выбрать оптимизированные варианты структуры ГПС. К этому моменту в результате предварительных исследований уже отобраны один или несколько наилучших вариантов организационно-производственной структуры проектируемой системы. Для каждого из них определены типы станков, средства транспортировки, их ориентировочные характеристики. Теперь возможно построение имитационных моделей с высоким уровнем детализации.

Моделирование рабочих станций детализируется до уровня отдельных станков, промышленных роботов, манипуляторов, накопителей, позиций загрузки и разгрузки. Процесс транспортировки деталей и оснастки описывается с точностью до различий во времени доставки их к различным рабочим станциям. В модель включаются все имеющиеся ограничения (количество сменных палет для установки деталей, объемы накопителей, особенности управления транспортом и т.д.).

Имитационное моделирование заключается в разработке таких программ для ЭВМ, которые содержат описание физических

объектов ГПС и правил их поведения во всех возможных ситуациях. Эти программы – аналог ГПС, их можно использовать при проведении экспериментов вместо самих объектов. Результаты будут соответствовать действительности в той мере, в какой имитационная модель адекватна физической реальности.

Имитационные модели позволяют практически с любой точностью воспроизвести динамику поведения ГПС, включая переходные процессы. К достоинствам таких моделей следует отнести также возможность анализа взаимодействия между оборудованием ГПС и ее системой управления, возможность определения необходимого количества инструмента, оснастки и возможность решения других подобных задач, сложных при аналитическом представлении.

Высокая стоимость разработки имитационных моделей привела к необходимости создания стандартного программного обеспечения имитационного моделирования ГПС. Наиболее распространенными в настоящее время являются проблемно ориентированные имитаторы модульного типа. Разрабатываются универсально-модульные имитационные программы.

Создание ГАП начинают с установления технического семейства (группы) деталей, подлежащих изготовлению в ГАП. Результаты этой работы, обычно производимой с помощью ЭВМ, используют для определения состава технологического оборудования ГАП (автоматических обрабатывающих ячеек), типов складов, автоматического транспорта и др.

Далее разрабатывают функциональную, технологическую и информационную структуры ГАП, конфигурацию локальной вычислительной сети, список решающих задач и распределение их по уровням сети. После этого переходят к алгоритмическому и программному обеспечению с учетом взаимодействия системы управления ГАП с АСУП, САПР, АСТПП и другими подсистемами комплексной интегрированной системы предприятия. Параллельно создаются компоновочные и строительные схемы и чертежи электропитания, пневмо- и гидросистем, вентиляционных систем и другие. При этом целесообразно использовать типовые решения. В особенности это касается программного обеспечения,

которое по перечню решаемых задач и по алгоритмам во многом не зависит от специфики конкретного ГАП. От конкретной производственной задачи в большинстве случаев зависит лишь часть программного обеспечения ЭВМ нижнего уровня управления ячейкой обрабатывающей, измерительной и т.п.

Организационной основой для построения гибких автоматизированных производств является групповое производство.

Групповое производство – это прогрессивная в технико-экономическом отношении форма организации дискретных непрерывных производственных процессов, экономико-организационной основой которых является целевая поддетальная (предметная) специализация участков и цехов, а технологической составляющей – унифицированная групповая, типовая форма организации технологических процессов. Применительно к проектированию ГАП можно сформировать следующие этапы последовательно проводимых работ по планированию или технико-экономическому проектированию группового производства:

- классификация деталей по конструктивно-технологическим признакам и группирование их;
- разработка групповых маршрутных технологических процессов, нормирование их и расчет количества технологического оборудования и рабочих мест;
- определение уровня организации и автоматизации производственного процесса и разработка технического задания (ТЗ) на ГАУ и ГАЦ;
- разработка операционных технологических процессов изготовления и контроля изделий, нормирование их, а также уточнение количества технологического оборудования и рабочих мест;
- разработка ТЗ на базовые части переналаживаемой оснастки, нестандартное технологическое и контрольно-измерительное оборудование;
- разработка технологических проектов на нестандартное оборудование и систему управления и рабочих проектов на оснастку;
- разработка рабочей документации на нестандартное оборудование, технические средства, управления, математическое обеспечение.

1.3. СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНЫЕ СХЕМЫ ГПС ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

ГПС для механической обработки деталей могут охватывать как отдельные операции технологических процессов, так и всю механообработку комплексно. Соответственно ГПС механообработки подразделяются на операционные и комплексные.

Операционные ГПС создаются на базе работающих на предприятиях и серийно выпускаемых станков с ЧПУ для отдельных видов технологических операций: токарных, фрезерных, шлифовальных, зубообрабатывающих, расточных и т.д. В таких системах станки с ЧПУ оснащаются промышленными роботами, накопителями деталей и управляющими вычислительными комплексами.

Комплексные ГПС создаются либо на базе типовых разработок, имеющихся во многих отраслях машиностроения, либо в качестве специальных разработок для отдельных видов изготавливаемых деталей: для деталей типа тел вращения, корпусных деталей, зубчатых колес и т.д. В этом случае имеются более широкие возможности по применению прогрессивных технологических процессов высокоскоростной механообработки, высокопроизводительных гибких производственных модулей, новых конструктивных решений и организационно-производственных структур.

Современная ГПС представляет собой сложную совокупность различного основного и вспомогательного технологического оборудования, транспортно-складской системы, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента, автоматизированных систем управления и систем обеспечения функционирования. Для решения различных технологических задач ГПС может комплектоваться различным оборудованием, например, однотипными взаимозаменяемыми обрабатывающими центрами с ЧПУ, разнотипными специализированными станками с ЧПУ (фрезерными, расточными станками, станками для снятия заусенцев и т.п.).

Под структурной схемой ГПС следует понимать расположение компонентов ГПС, обеспечивающих наиболее рациональное функционирование всей системы. При этом к компонентам ГПС относят технологическое оборудование, транспортную систему,

склады, управляющее оборудование и т.п. Изменение состава и взаимодействия компонентов ГПС влияют на структуру.

Структурная схема ГПС определяется типом обрабатываемых деталей, технологическим процессом их изготовления.

В зависимости от схемы расположения оборудования в ГПС перемещение заготовок и других компонентов материального потока может быть организовано по жесткому маршруту, что характерно для ГАЛ, или по изменяемому (гибкому) маршруту (в ГАУ). При комбинированном потоке на отдельных участках ГПС маршрут может не изменяться, а на других может быть изменен.

Выбор маршрута перемещения заготовки зависит от того, последовательно она обрабатывается или с возвратом на склад после выполнения операции, что обуславливает прямую или косвенную (через склад) связь оборудования между собой. При прямой связи оборудования детали с помощью перемещающихся средств и подающих устройств транспортируются непосредственно со склада к оборудованию. После обработки на одном станке деталь подается к другому, минуя склад (крупносерийное производство). При косвенной связи детали переходят от одного станка через склад к другому станку (при относительно короткой длительности цикла обработки).

Достоинства косвенной связи:

- обеспечивается более полная загрузка технологического оборудования;
- весь производственный процесс контролируется и управляется от центрального пульта управления.

Требование производственной гибкости – одно из основных требований для ГПС механообработки, что во многом определяет область эффективного применения типовых ГПС.

Создание ГПС в условиях мелкосерийного производства деталей широкой номенклатуры является технически более сложной проблемой, чем создание ГПС для изготовления деталей ограниченной и тем более малой номенклатуры в условиях серийного и крупносерийного производства. При производстве деталей относительно широкой номенклатуры требуется более сложное быстроперенастраиваемое оборудование с широкими технологическими

возможностями, более развитые система управления и программное обеспечение, совершенная система технологической подготовки производства.

Уровень автоматизации технологического оборудования ГПС для мелкосерийного производства определяется малыми партиями запуска разнообразных деталей в производство, непостоянством видов заготовок и применяемых материалов, наличием внеочередных заказов и рядом организационных особенностей. Все это существенно затрудняет оптимизацию разнообразных технологических процессов, снижает их устойчивость и надежность, затрудняет полное исключение из них человека. Технически сложно автоматизировать такие операции как контроль размеров получаемых деталей, контроль за состоянием режущего инструмента, ввод коррекций в систему управления, общий контроль за многочисленными процессами обработки и состоянием оборудования. Именно поэтому в мелкосерийном производстве ГПС создают на основе станков с ЧПУ с ручной или механизированной загрузкой. Один оператор обычно обслуживает два–четыре таких полуавтомата. Доставка к рабочим местам заготовок, режущего инструмента и оснастки выполняется автоматически. Автоматизированные системы технологической подготовки производства, оперативного планирования, диспетчеризации и учета хода производства в этом случае наиболее эффективны.

В серийном производстве имеются условия для дальнейшего повышения уровня автоматизации ГПС и сведения до минимума или даже полного исключения участия человека в технологических процессах. Уменьшение номенклатуры обрабатываемых деталей и увеличение размера партии запуска позволяет более тщательно отработать и отладить технологические процессы, управляющие программы для систем ЧПУ, режущий инструмент. Эти ГПС создают на основе автоматически переналаживаемых *гибких производственных модулей* (ГПМ). Несмотря на относительно высокую стоимость ГПМ, их применение в условиях серийного производства эффективно благодаря высокой производительности. Один наладчик может в течение дневной смены обслужить до десяти и более ГПМ, которые две последующие смены будут продолжать работать в автоматическом режиме.

Для крупносерийного производства целесообразно использование гибких автоматизированных линий, состоящих из специализированных переналаживаемых станков с многошпиндельными сменными коробками, промышленных роботов и автоматизированной транспортно-складской системы. Управление станками осуществляется от систем ЧПУ и программируемых контроллеров.

Еще одно важнейшее требование к ГПС – надежность функционирования всех подсистем и оборудования. Значимость этого требования тем выше, чем выше уровень автоматизации ГПС. Надежность ГПС определяется как свойство системы, обусловленное ее безотказностью в работе, долговечностью, ремонтпригодностью и обеспечивающее выполнение заданных функций. Одним из косвенных вероятностных показателей безотказной работы компонента системы является среднее значение продолжительности работы между отказами. Однако повышение надежности ГПС в целом только за счет ужесточения требований к отдельным ее компонентам в части безотказной наработки недостаточно. Не менее важными критериями являются общая долговечность (заданный технический ресурс) и ремонтпригодность.

Под ремонтпригодностью понимают свойство системы приспособляемость к восстановлению исправности и к поддержанию заданного технического ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей и отказов. Ремонтпригодность количественно оценивается трудоемкостью восстановления работоспособности, т.е. затратами труда и средств на предупреждение и устранение неисправностей. Эффективным средством предупреждения неисправностей и отказов в ГПС становятся системы технического диагностирования.

В мелкосерийном производстве надежная работа ГПС обеспечивается с участием человека, контролирующего технологические процессы и работу оборудования. Операторы вносят в производственный процесс необходимые коррективы или своевременно прерывают его, не допуская ситуаций, опасных с точки зрения качества изделий и аварийности.

В серийном и крупносерийном производствах большинство оборудования ГПС работает в автоматическом режиме. В этом

случае необходимо автоматическое поддержание его надежной работы, так как отказы приводят к длительному простоя (особенно в безлюдные вечернюю и ночную смены). Надежность работы ГПС определяется прежде всего надежностью автоматических систем обеспечения заготовками, режущим инструментом и технологической оснасткой, их высоким качеством, безотказностью функционирования всех технических и программных компонентов, высоким качеством управляющих программ и другой управляющей информации.

ГПС не должна останавливаться и прекращать выпуск продукции при выходе из строя и останове отдельных ГПМ и даже целых подсистем. Это обеспечивается тем, что каждый ГПМ может автономно функционировать в автоматическом режиме в течение достаточно длительного времени. ГПМ может также функционировать и в полуавтоматическом режиме, например, при выходе из строя промышленного робота, измерительных устройств, транспортной системы. Наконец, при отказе управляющего вычислительного комплекса ГПМ может продолжать работать, так как ввод и редактирование управляющих программ возможны с пульта системы ЧПУ на рабочем месте. Во всех случаях отказа компонентов ГПС ее уровень автоматизации и ее функциональные возможности резко снижаются.

С целью обеспечения надежности транспортно-складской системы, которая также обычно имеет модульную структуру, предусматривается возможность управления ею как от ЭВМ, так и в полуавтоматическом и ручном режимах, возможность извлечения и доставки к ГПМ находящихся в ней заготовок, инструмента и оснастки с помощью цеховых транспортных средств.

В общем случае при внедрении ГПС имеют место следующие основные статьи экономии: прямые расходы на рабочую силу; расходы на обслуживающий персонал; транспортно-складские расходы; расходы на обеспечение качества продукции; сокращение незавершенного производства, товарных запасов и расходов на материалы.

При переходе к ГПС в 2–3 раза повышается эффективность использования оборудования, в 6–7 раз сокращается производст-

венный цикл механообработки. Объединение автономно работающих станков с ЧПУ в ГПС позволяет поднять коэффициент загрузки станков до 0,85...0,9 по сравнению с 0,4...0,6, а коэффициент сменности их работы – до 2,5 по сравнению с 1,3...1,6.

Контрольные вопросы

1. Какие виды производств Вы знаете? Приведите их характеристики.
2. Приведите классификацию структурных звеньев гибкого автоматизированного производства по уровню иерархической подчиненности и служебного назначения.
3. Дайте характеристику категориям гибкого производства.
4. Какие критерии гибкости используют при оценке ГПС? Приведите примеры.
5. Чем отличаются этапы развития ГПС?
6. Какова агрегатно-модульная система автоматизации приборостроения?
7. Приведите виды различных технологических процессов и операций в ГПС.

Глава 2

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

2.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТАМ

Промышленный робот (ПР) – это автоматический манипулятор с программным управлением, представляющий собой аналог руки человека [ГОСТ 25685–83 "Роботы промышленные. Классификация"; ГОСТ 25686–85 "Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения"; ГОСТ 26050–89 "Роботы промышленные. Общие технические требования"; ГОСТ 26662–85 "Роботы промышленные агрегатно-модульные. Классификация исполнительных модулей"; ГОСТ 30097–93 "Роботы промышленные. Системы координат и направления движений"; ГОСТ 30286–94 "Роботы промышленные. Представление характеристик"; ГОСТ 4.480–87 "СПКП. Роботы промышленные. Номенклатура основных показателей"]. От традиционных средств автоматизации ПР отличаются прежде всего универсальностью движений и быстротой переналадки на новые операции. Они могут обслуживать различное оборудование, входящее в состав ГАП: применительно к основному технологическому оборудованию осуществлять загрузку заготовок и разгрузку готовых деталей, контроль, смену инструмента и уборку отходов; обеспечивать установку и смену средств контроля в автоматическом режиме [1, 5, 8, 10, 12].

Промышленный робот (ПР) – автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Промышленные роботы являются универсальным средством автоматизации производственных процессов в условиях большой номенклатуры и частой смены предметов производства. Они могут выполнять как основные, так и вспомогательные операции по обслуживанию технологического оборудования, что делает их незаменимыми при создании систем ГАП.

В системах ГАП применяют ПР от сложных с развитыми устройствами управления до простейших специальных. Промышленные роботы широко используют для обслуживания складского оборудования. В транспортных системах они могут выполнять самостоятельно операции по перемещению и доставки грузов к месту назначения, по их накоплению, а также обслуживать различные конвейерные линии. Помимо ПР, здесь находят применение и автооператоры (АО), представляющие собой относительно простые неперепрограммируемые автоматические манипуляторы, предназначенные для выполнения одной заданной операции.

Исходя из особенностей работы в ГАП, к промышленным роботам предъявляют следующие основные требования:

- проведение работы в автоматическом режиме как при основных, так и при вспомогательных операциях;
- автоматическая перенастройка при смене предметов производства по управляющим командам;
- соответствие уровня ПР сложности выполняемых работ;
- рациональное сочетание сложности ПР со сложностью специального оборудования и оснащения, обеспечивающего его работу в автоматическом режиме;
- стыкуемость ПР по всем параметрам (механической части, приводам и устройствам управления) с оборудованием, в составе которого они будут работать;
- возможность осуществлять управляющие воздействия на основное технологическое оборудование и оснащение для выполнения операции в последовательности, предусмотренной программой.
- обеспечение технико-экономического анализа и оценки различных вариантов в целях принятия окончательного решения;
- надежность ПР, работающих в автоматических технологических системах.

2.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Номенклатура основных показателей ПР устанавливается соответствующим ГОСТ [ГОСТ 4.480–87 "Система показателей качества продукции. Роботы промышленные. Номенклатура основных показателей"]. Применяемость этих машин в наибольшей степени определяется следующими показателями: номинальной грузоподъемностью; структурной кинематической схемой; видом управления; геометрическими, скоростными и точностными показателями степеней подвижности.

Промышленные роботы имеют различные конструктивные исполнения и технические характеристики, которые определяют их технологические возможности и области применения. Для систематизации данных, необходимых при подборе ПР для выполнения различных работ в системах ГАП, предлагается технологический классификатор ПР (табл. 2.1). Классификационные особенности определяются общим (конструктивным) исполнением, степенями подвижности и управлением ПР и другими характеристиками.

Общее исполнение характеризуется степенями подвижности корпуса, грузоподъемностью, количеством манипуляторов, системой координат, типом приводов, исполнением, точностью позиционирования и степенью универсальности, ходом манипулятора (его наибольшим перемещением) и быстродействием. *Управление* ПР определяется его типом, методом программирования, объемом памяти и количеством внешних команд программы.

Ниже приведены отдельные классификационные элементы.

Подвижность корпуса. Она характеризует исполнение ПР применительно к условиям работы корпуса робота в неподвижном (стационарном) или подвижном состоянии. Соответственно ПР делятся на неподвижные и подвижные, а подвижные ПР, в свою очередь, на напольные и подвесные.

Промышленные роботы с неподвижными корпусами находят широкое применение при обслуживании различного оборудования и выполнении основных технологических операций. Их устанавливают на полу перед обслуживаемым оборудованием, на подставках

2.1. Схема технологической классификации промышленных роботов

Классификационная группа	Общее исполнение							Степень универсальности
	Подвижность корпуса	Грузоподъемность	Число манипуляторов	Система координат	Тип привода	Исполнение	Точность позиционирования	
А	Неподвижный	Сверхлегкие (до 1 кг)	1	Прямоугольная	Пневматический	Нормальное	Малая (погрешность 1 мм и более)	Специальный
Б	Подвижный польный	Легкие (1...10 кг)	2	Цилиндрическая	Гидравлический	Пылезащитное	Средняя (0,1...1 мм)	Специализированный
В	Подвижный подвесной	Средние (10...100 кг)	Многоманипуляторные	Сферическая	Электро-механический	Теплозащитное	Высокая (менее 0,1 мм)	Универсальный
Г	—	Тяжелые (свыше 100 кг)	—	Комбинированная	Комбинированный	Пожаро- и взрывобезопасное	—	—

Продолжение табл. 2.1

Классификационная группа	Подвижность			Управление			Количество внешних команд
	Число степеней подвижности	Ход манипуляторов	Быстродействие	Тип управления	Метод программирования	Объем памяти	
А	Малая (с числом степеней до 3)	Малый (до 300 мм)	Малое (линейная скорость до 0,5 м/с)	Цикловое программное	Обучением: ручное, полуавтоматическое, автоматическое	Малый (менее 100 кадров)	Малое (до 15)
Б	Средняя (4...6)	Средний (300...1000 мм)	Среднее (0,5...1 м/с)	Позиционное программное	Аналитическое: механический и автоматический расчет программ	Средний (100...600 кадров)	Среднее (15...60)
В	Высокая (6 и более)	Большой (свыше 1000 мм)	Большой (свыше 1 м/с)	Контурное программное	Самообучением: с участием оператора, в процессе работы	Большой (свыше 600 кадров)	Большое (свыше 60)
Г	—	—	—	Адаптивное	—	—	—

различных конструкций и непосредственно на обслуживаемом оборудовании. Эти ПР хорошо сочетаются с обслуживаемым оборудованием и удобны в эксплуатации; их технологические возможности ограничены пределами рабочей зоны.

Подвижные напольные ПР перемещаются вдоль оборудования или рельсовых направляющих или автоматических тележка-робокарах. Подвижные подвесные ПР передвигаются по моно-рельсам, подвешенным над обслуживаемым оборудованием. Таким образом, подвижные ПР обслуживают несколько единиц технологического оборудования, расположенного вдоль трассы передвижения, что расширяет их технологические возможности, но несколько усложняет условия эксплуатации.

Характеристика подвижности корпуса является одной из основных при подборе ПР в систему ГАП. Первоначально рассматривают необходимость использования стационарного или подвижного ПР, а затем уточняют другие его характеристики.

Грузоподъемность. Способность ПР взять, удержать и транспортировать предметы с регламентируемой массой является одной из основных классификационных характеристик. Для ПР с несколькими манипуляторами она определяется по манипулятору, имеющему наибольшее значение грузоподъемности.

Сверхлегкие роботы грузоподъемностью до 1 кг широко применяют, в частности, в штамповочном производстве преимущественно на вторичных операциях и сборке. Это в основном специализированные быстродействующие пневматические ПР с двумя-тремя степенями подвижности и цикловым управлением.

Легкие роботы грузоподъемностью до 10 кг имеют чаще всего среднее быстродействие и снабжены различными типами приводов и устройств управления. Количество степеней подвижности достигает пяти-шести.

Роботы со средней грузоподъемностью (до 100 кг) выполняются специальными, специализированными и универсальными. Преобладают здесь гидравлические, электромеханические и комбинированные приводы. Управление позиционное, реже контурное. Скорость перемещений составляет около 0,5 и реже 1,0 м/с.

Тяжелые ПР (грузоподъемностью свыше 100 кг) в основном относятся к группе специализированных. Приводы – гидравлические и электромеханические, управление – позиционное, быстродействие – малое.

При подборе ПР по грузоподъемности необходимо иметь в виду, что в большинстве случаев этот параметр меняется в зависимости от хода манипулятора и скорости перемещения. С их увеличением фактическая грузоподъемность уменьшается.

Число манипуляторов. Наряду с быстродействием число манипуляторов влияет на производительность ПР. Широкое применение нашли *одноманипуляторные* ПР, например, для выполнения транспортно-установочных операций с объектами массой до 0,5 кг при высоком быстродействии на операциях листовой штамповки. Такие роботы обеспечивают высокую быстроходность, жесткость в условиях работы с большими инерционными нагрузками, совмещение движения по установке заготовки и ее выталкиванию, имеют две или три степени подвижности.

Одноманипуляторные роботы применяют и для транспортно-установочных операций с изделиями большей массы при довольно значительном машинном времени выполнения основных операций.

Преимущества одноманипуляторных роботов состоят в простоте их конструкций и систем управления. К недостаткам следует отнести ограничение их технологических возможностей. Это связано со следующим: при относительно малом машинном времени загрузка, установка и разгрузка являются лимитирующими операциями, что приводит к дополнительным простоям технологического оборудования и неполному его использованию.

Двухманипуляторные ПР используют для захвата, транспортирования, загрузки и разгрузки изделий массой от 0,1 до 5,0 кг (реже до 10). Преимущество таких роботов проявляется при обслуживании оборудования с малым машинным временем. Два манипулятора обеспечивают совмещение операций загрузки и разгрузки с машинным временем, за счет чего сокращается продолжительность технологического процесса. Двухманипуляторные роботы могут иметь общие или отдельные управление приводами манипуляторов.

Общий привод с общим управлением проще, но значительно ограничивает технологические возможности роботов. Такие роботы могут быть заменены одноманипуляторными, оснащенными двухместными захватными устройствами.

Двухманипуляторные роботы с отдельными приводами и управлением обеспечивают более гибкое обслуживание различных видов технологического оборудования. К недостаткам этого типа роботов необходимо отнести значительное усложнение кинематических схем и устройств управления, что в определенной степени отражается на программировании роботов. Применение двухманипуляторных роботов с жестким программированием имеет ряд ограничений, и в каждом конкретном случае требуется технологическая проработка.

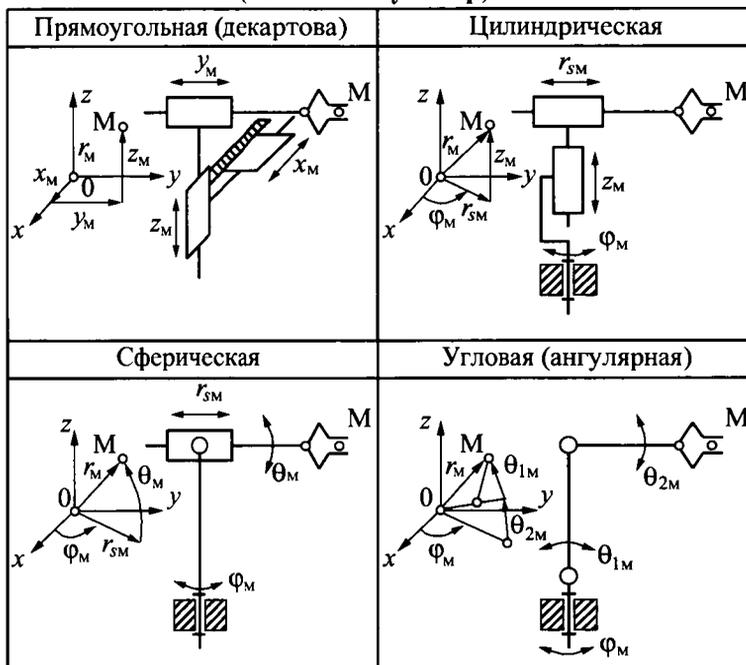
Многоманипуляторные роботы можно отнести к группе специальных, их используют ограниченно. Преимущество таких ПР заключается в возможности значительного увеличения концентрации выполняемых операций, например, при сборке и одновременном обслуживании нескольких единиц технологического оборудования.

Система координат. Технологические возможности ПР существенно зависят от системы координат пространства (табл. 2.2), в котором перемещаются схваты или руки манипуляторов.

Прямоугольная система координат обеспечивает перемещение в зоне, имеющей форму параллелепипеда. Конструкции роботов с этой системой координат являются наиболее простыми и удобными для программирования. Однако технологические возможности таких роботов ограничены. Затрудняются взятие объектов транспортирования и подача их в зону обработки или укладки в места со сложными подходами, усложняется технологическое оснащение для обслуживания ПР, увеличивается производственная площадь.

Цилиндрическая система координат обеспечивает пространственные перемещения манипуляторов, ограниченные зоной в форме цилиндра. Конструкции ПР в этом случае относительно несложные. Технологические возможности их возрастают, но все же имеется ряд описанных выше ограничений.

2.2. Системы координат "руки" манипулятора
(М – манипулятор)



Сферическая система координат дает возможность для пространственного перемещения манипулятора робота в зоне, ограниченной частью сферы, и является наиболее универсальной. Эта система обладает наибольшими технологическими возможностями. Роботы в основном выполняют в виде складывающегося манипулятора, занимают меньше производственной площади. Оснащение для обслуживания ПР упрощается. Конструкция роботов с такой системой координат весьма сложна, программирование вызывает необходимость использования микроЭВМ.

Применяют также различные комбинированные системы. К ним можно отнести ангулярные (угловые) системы координат.

В математике положение точки в пространстве задается в одной из трех систем координат:

- прямоугольной декартовой с координатами x_m, y_m, z_m ;
- цилиндрической с координатами r_{zm}, φ_m, z_m ;
- сферической с координатами r_m, φ_m, θ_m .

Тип приводов. Приводы обеспечивают перемещение отдельных манипуляторов ПР в нужном направлении. Системы приводов существенно влияют на технологические возможности ПР [ГОСТ 26058–85 "Роботы промышленные. Гидродвигатели исполнительных устройств. Типы, основные параметры и присоединительные размеры"; ГОСТ 26059–89 "Роботы промышленные. Пневмодвигатели исполнительных устройств. Типы, основные параметры и присоединительные размеры"; ГОСТ 27122–86 "Роботы промышленные агрегатно-модульные. Модули электромеханические. Типы, основные параметры"; ГОСТ 27312–87 "Роботы промышленные агрегатно-модульные. Исполнительные модули углового перемещения. Типы и основные параметры"; ГОСТ 27350–87 "Роботы промышленные агрегатно-модульные. Исполнительные модули линейного перемещения. Типы, основные параметры"; ГОСТ 27351–87 "Роботы промышленные агрегатно-модульные. Исполнительные модули. Общие технические условия"]].

Пневмоприводы на базе пневматических цилиндров и турбинок применяют в специальных, специализированных, а иногда и в универсальных роботах с грузоподъемностью до 10 кг.

Преимущество *пневмоприводов* заключается в простоте конструктивного исполнения, надежности, дешевизне их изготовления и эксплуатации, в отсутствии отдельного энергоблока. Однако технологические возможности роботов с пневмоприводом ограничены в связи с тем, что привод обеспечивает перемещение исполнительного механизма только от упора до упора, т. е. работает в режиме циклового управления. Промежуточное позиционирование исполнительных механизмов возможно за счет усложнения их конструкции. Кроме того, в пневмоприводах не обеспечивается управление скоростью при перемещении и требуются демпфирующие устройства для плавного подхода к жестким упорам.

Гидроприводы на базе гидроцилиндров и гидродвигателей применяют в роботах грузоподъемностью свыше 5 кг. Этот тип

привода имеет позиционное и контурное управление. Гидроприводы компактны, способны развивать большие силы, хорошо обеспечивают регулировку силы в исполнительных механизмах и скоростей их перемещения.

Технологические возможности роботов с гидроприводами выше, чем роботов с пневмоприводами. Однако им свойственны и недостатки: относительно небольшая быстроходность; зависимость вязкости масла от температуры; колебаний давления масла вследствие потерь в трубопроводах (что вызывает нестабильность работы робота); необходимость в отдельном источнике питания – гидростанции; повышенные требования к условиям эксплуатации. Применение гидропривода перспективно в роботах с большой грузоподъемностью.

Электропривод в промышленных роботах не получил широкого распространения в основном из-за отсутствия электродвигателей с требуемыми характеристиками, но он имеет ряд преимуществ. В таких приводах используют электродвигатели постоянного и переменного тока, а также шаговые двигатели. Электроприводы применяют в роботах различной универсальности и грузоподъемности с позиционным и контурным управлением, реже – с цикловым.

Роботы с электроприводами обладают большой технологической гибкостью, просты в обслуживании и надежны в работе, они хорошо стыкуются с обслуживаемым оборудованием.

Создаются различные *комбинированные приводы* (пневмо-электрические, электрогидравлические и др.), в которых хотя и снижены основные недостатки базовых приводов, но появились новые, такие как необходимость в различных источниках питания и в стыковке разных типов приводов, усложнение устройств управления. В целом комбинированные приводы расширяют технологические возможности роботов.

Исполнение ПР. Исполнение промышленных роботов зависит от производственных условий их эксплуатации: запыленности и загазованности воздуха, температурного режима, влажности, пожаро- и взрывоопасности, электромагнитных, механических и других видов воздействий.

Роботы *нормального исполнения* предназначены для обычных условий эксплуатации. При повышенной запыленности необходимо применять роботы в *пылезащищенном исполнении* согласно существующим нормам. Оснащение для обслуживания робота также следует создавать с учетом повышенной запыленности. Роботы в *теплозащищенном исполнении* используют в кузнечно-прессовом, литейном, термическом и ряде других производств. При разработке технологического процесса помимо обеспечения последовательности выполнения технологических операций необходимо предусматривать с учетом температурных зон в окружающей среде наиболее благоприятное расположение ПР, его устройства управления и оснащения.

В производствах с повышенными уровнями пожаро- и взрывоопасности следует применять ПР в *пожаро- и взрывозащищенном исполнении*. При технологической проработке должно быть уделено особое внимание прокладке трасс транспортирования и размещению роботов, оснащения и оборудования в целях предотвращения аварийных ситуаций, вызванных столкновением с предметами, выступающими частями оборудования и др. Скорость перемещения не должна превышать 0,5 м/с.

Применительно к ПР в *комбинированном исполнении*, например пылезащитном и взрывобезопасном, технические и технологические требования к их изготовлению и использованию объединяются.

Точность позиционирования. Этот важный параметр промышленных роботов определяет точность выхода рабочего органа манипулятора в заданные точки и точность воспроизведения заданной траектории. При манипулировании важно, в частности, строить траектории, обеспечивающие гарантированный обход препятствий. Большая точность позиционирования требуется при взятии предметов из накопительных устройств и передаче их в зону обработки или на другие технологические позиции. При выполнении роботом основных технологических операций точность позиционирования должна соответствовать техническим требованиям на обработку или сборку изделий.

В ряде современных ПР предусматривают варьирование точности позиционирования в зависимости от конкретных условий работы. Для повышения точности приходится уменьшать скорость перемещения, что ведет к снижению производительности. Во избежание этого во многих случаях применяют различные устройства для соответствующего ориентирования предметов транспортирования перед их взятием или укладкой. С этой целью устанавливают направляющие устройства, ловители, трафареты, а также вводят компенсационные элементы в механизмы захватных устройств, чем обеспечивается некоторая податливость в процессе установки детали или заготовки в рабочее положение.

Промышленные роботы с *малой точностью позиционирования* – с погрешностью более 1,0 мм – способны выполнять транспортные, а также основные операции при окраске, в некоторых случаях при сварке. Низкая точность позиционирования характерна для контурных и позиционных систем управления, используемых совместно с роботами, имеющими пневматический или гидравлический привод.

Роботы со *средней точностью позиционирования* – с погрешностью от 0,1 до 1,0 мм – используют довольно широко. Такая точность наиболее легко обеспечивается цикловыми системами и в достаточной мере – позиционными и контурными системами управления при скоростях перемещения в пределах 0,5...1,0 м/с. Эти ПР в основном удовлетворяют требованиям, предъявляемым к обслуживанию различных видов технологического оборудования.

Промышленные роботы с *высокой точностью позиционирования* – с погрешностью менее 0,1 мм – совместно с системами позиционного управления создаются прежде всего для выполнения сборочных операций.

Степень универсальности. Этот классификационный параметр определяется уровнем соответствия ПР запланированным к выполнению работ условиям. Такому требованию в наибольшей мере отвечают специальные промышленные роботы, поэтому они проще, экономичнее и удобнее в эксплуатации.

Специализированные ПР предназначены для выполнения однотипных операций, в пределах которых обладают необходимой

гибкостью. Технологические возможности специализированных роботов из унифицированных модулей расширяются за счет варьирования компоновки ПР в зависимости от конкретных требований производства.

Универсальные ПР способны осуществлять самые разнообразные операции при широкой номенклатуре изделий. Роботы этого типа имеют пять и более степеней подвижности, способны мобильно переключаться на другую работу и относительно быстро перепрограммироваться. Однако они дороже специализированных и сложнее в эксплуатации.

Степень подвижности. Эта характеристика отражает возможности ПР к выполнению сложных движений в процессе работы. Степени подвижности ПР делятся на *переносные и ориентирующие*. Первые осуществляют транспортные движения перемещением манипулятора, а вторые – установку транспортируемого предмета в требуемом положении в заданное место. Эти степени подвижности реализуются с помощью кисти манипулятора и расположенных на ней приводов установочных перемещений.

Перемещения могут быть как линейными, так и угловыми и чередоваться в различной последовательности в зависимости от назначения робота. Универсальность ПР в значительной степени определяется числом степеней его подвижности.

Малая подвижность (до трех степеней подвижности) присуща специальным роботам и реже специализированным. В этом случае конструкция ПР наиболее проста, однако технические возможности таких роботов существенно ограничены.

Средняя подвижность – с количеством степеней подвижности до шести – характерна для специализированных и универсальных ПР. В этом случае обязательно вводят несколько ориентирующих степеней подвижности.

Высокую (избыточную) подвижность (свыше шести степеней подвижности) придают роботам сравнительно редко, так как при незначительном улучшении кинематических возможностей намного усложняются конструкция робота и его программирование.

При пяти-шести степенях подвижности, как правило, обеспечивается достаточное количество сочетаний различных перемещений, необходимых для решения производственных задач по обслуживанию технологического оборудования.

Ход манипуляторов. Эта величина характеризует перемещение манипулятора при обслуживании оборудования или выполнении основных технологических операций.

Ход манипулятора регламентирует возможность доставки предметов в зону установки для последующей обработки или сборки и является определяющим при подборе ПР для обслуживания оборудования или при организации рабочего места. Манипуляторы *с малым ходом* (до 300 мм) предназначены в основном для сверхлегких и легких специальных и специализированных ПР; *со средним ходом* (до 1000 мм) – для ПР различной грузоподъемности и универсальности с прямоугольной, цилиндрической, а иногда и со сферической системами координат; манипуляторы *с большим ходом* (свыше 1000 мм) – для специализированных и универсальных роботов средней и большой грузоподъемности со сферической системой координат.

Технологические возможности ПР с ростом хода манипуляторов значительно расширяются, увеличивается перечень обслуживаемого ими технологического оборудования.

Ход манипулятора в сочетании с переносными степенями подвижности (линейными и угловыми) определяет зону обслуживания, в соответствии с которой осуществляют расстановку специального оборудования, обеспечивающего работу ПР.

Быстродействие. Под быстродействием робота понимают среднюю скорость перемещения предметов номинальной массы при транспортировке.

Одно из основных требований, предъявляемых к промышленным роботам, это сокращение времени обслуживания технологического оборудования, что обеспечивается, прежде всего, за счет увеличения быстродействия ПР. Быстродействие определяется скоростью перемещения по отдельным степеням подвижности, т.е. скоростью соответствующих приводов манипуляторов, значения которой зависят от массы грузов, хода манипулятора, сложно-

сти траектории перемещения и другими параметрами. Таким образом, робот имеет достаточно сложную структуру скоростей отдельных своих механизмов. В целом же для подбора характеристики робота по быстродействию необходимо знать суммарную скорость перемещения его рабочего органа, т. е. слагаемую из скоростей отдельных приводов. Эта суммарная скорость определяет фактическую скорость перемещения предмета манипулирования и подлежит расчету в каждом конкретном случае. При предварительном выборе робота его быстродействие можно оценивать скоростью перемещения манипулятора, так как от него в основном зависит суммарная скорость перемещения. При детальной разработке технологического процесса определяется общая, или суммарная, скорость перемещения объекта манипулирования и строится циклограмма системы.

Исходя из этого, быстродействие можно разбить на группы:

- *малое быстродействие* – скорость перемещения до 0,5 м/с. Гидравлические и реже электромеханические ПР с таким быстродействием обладают средней и большой грузоподъемностью и обслуживают оборудование со значительными по времени циклами ведения технологического процесса;

- *среднее быстродействие* – скорость перемещения до 1,0 м/с присуща ПР с малой и средней грузоподъемностью, с различными системами приводов и степенью универсальности и соответствует средней скорости движений руки человека. В связи с этим ПР со средним быстродействием широко используют при автоматизации производственных процессов;

- *большое быстродействие* – скорость перемещения выше 1,0 м/с доступна пока для роботов ограниченного ассортимента в связи со значительными техническими трудностями их создания и эксплуатации.

Современные ПР имеют в основном среднее быстродействие и только около 20 % – высокое.

Тип управления. Промышленные жестко программируемые роботы выполняют простые повторяющиеся операции в соответствии с полученной программой. Ограниченные технические возможности этих ПР восполняют применением специальных при-

способлений и оснастки, а также пересмотром действующих производственных процессов, модернизацией или переделкой обслуживаемого оборудования и инструментального оснащения.

Цикловое программное управление ПР обеспечивает в основном двухточечное позиционирование по отдельным степеням подвижности. Программирование осуществляют обычно установкой механических упоров, располагаемых в крайних положениях по каждой степени подвижности. В отдельных случаях применяют дополнительные промежуточные выдвигные упоры с целью увеличения числа точек позиционирования.

Цикловые системы управления наиболее просты, надежны в эксплуатации и дешевы. Они в основном используются в специальных и специализированных роботах при выполнении операций, для которых достаточно обеспечить минимальное количество точек позиционирования по каждой степени подвижности.

К недостаткам данного типа управления следует отнести малую универсальность и, соответственно, ограниченные технологические возможности ПР, что выражается в неспособности к перемещениям по сложным траекториям. Кроме того, достаточная продолжительность и трудоемкость перенастройки робота при переходе на новую программу работы ограничивают его гибкость, а следовательно, и гибкость построенного с его использованием ГАП.

Позиционное управление обеспечивает от десятков до сотен программируемых точек по каждой степени подвижности. В этом случае при программировании задается соответствующий набор точек рабочей зоны, через которые последовательно должны пройти звенья манипулятора при выполнении заданной программы. Позиционное управление позволяет повысить универсальность и технологические возможности и расширить область применения роботов в производстве. К недостаткам этого типа управления относятся нерегулируемость траектории между заданными точками и затруднения, связанные с приданием ей плавности.

Контурное управление обеспечивает перемещение манипуляторов ПР по непрерывным траекториям и с программируемой ско-

ростью движения. Система контурного управления создается на аналоговых и цифровых принципах управления.

В аналоговых контурных системах управления программа записывается на магнитную ленту или магнитный диск, в цифровых же программа задается набором точек, а при ее воспроизведении выдается тоже в виде аналогового сигнала с помощью интерполяторов. Аналоговые системы управления более просты. К их недостаткам относятся меньшая точность позиционирования, больший объем памяти и сложность стыковки с ЭВМ. Перспективность использования цифровых систем управления обусловлена высокой точностью и удобством связи с обслуживаемым технологическим оборудованием и ЭВМ.

В целом контурные системы управления обладают значительными универсальностью и технологическими возможностями. К их недостаткам следует отнести сложность и высокую стоимость.

Комбинированные системы программного управления оптимально сочетают цикловые, позиционные и контурные типы управления.

Расширение технических возможностей ПР с адаптивным управлением обеспечивается с помощью систем осязания на базе тактильных, локационных, телевизионных и других сенсорных устройств, которые позволяют определять положение, конфигурацию и другие особенности объектов манипулирования и окружающей среды.

В соответствии с полученными сигналами производится автоматическое изменение управляющей программы. Системы адаптивного управления ПР реализуются на базе микропроцессорной техники и микроЭВМ.

При использовании *адаптивных* роботов отпадает необходимость в сложных технологических приспособлениях для ориентирования и позиционирования деталей, упрощается и ускоряется переход к выполнению новых операций. В настоящее время созданы отдельные специализированные ПР с адаптивным управлением, предназначенные прежде всего для сборочных операций и сварки.

Рассмотренные типы управления относятся к локальным средствам управления ПР, которые находили применение в ГАП, особенно на первых этапах их создания. Необходимо обеспечивать стыковку этих устройств управления с соответствующими уровнями локальной вычислительной сети (ЛВС) ГАП. При прямом управлении ПР от ЭВМ локальной вычислительной сети требуется стыковка ЛВС с системами управления приводами и информационными устройствами роботов.

Точность манипулятора ПР характеризуется абсолютной линейной погрешностью позиционирования центра схвата. Промышленные роботы делятся на группы с малой ($\Delta r_m < 1$ мм), средней ($0,1 \text{ мм} < \Delta r_m < 1$ мм) и высокой ($\Delta r_m < 0,1$ мм) точностью позиционирования.

2.2.1. Типоразмерные ряды промышленных роботов

Классификация роботов в машиностроении распространяется на модели, предназначенные для автоматизации вспомогательных операций при обслуживании основного технологического оборудования и выполнения сборочных операций.

Типоразмерные ряды ПР предусматривают задание основных параметров и установление размерных рядов промышленных роботов общемашиностроительного применения при обязательном условии их пригодности для работы в составе гибких производственных модулей, участков, линий.

ПР разделяются на группы в соответствии с видами производства для обслуживания:

А – для литейных машин;

Б – кузнечно-прессового оборудования (табл. 2.3);

В – металлорежущих станков (табл. 2.4);

Г – линий гальванопокрытий;

Д – выполнения сборочных операций.

В пределах каждой группы модели ПР располагают в возрастающем порядке грузоподъемности.

2.3. Промышленные роботы для обслуживания кузнечно-прессового оборудования (группа Б)

Номер в группе	Назначение ПР	Модель	Грузоподъемность (кг) на число рук	Конструктивное исполнение
Б1	ПР для подачи заготовок на однокривошипные прессы простого действия усилением до 100 кН	КМ0,08Ц42.11	0,08×1	Напольное с выдвигной рукой и консольным механизмом подъема
Б2		КМ0,63Ц41.12	0,63×1	Напольное с выдвигной рукой и консольным механизмом подъема
Б3	ПР для загрузки-выгрузки заготовок на листоштамповочных прессах усилением 630кН	КМ1,25Ц42.16	0,63×2	Напольное с выдвигной рукой и консольным механизмом подъема, с двумя руками
Б4.1		МА2,5Ц42.01	1,25×2	Напольное с выдвигными руками и механизмом подъема, двухрукое
Б4	ПР агрегатной конструкции для обслуживания прессов	МА2,5Ц42.02	0,8×3	Напольное с выдвигными руками и механизмом подъема, трехрукое
		МА2,5Ц42.03	1,25×2	То же, что МА2,5Ц42.01, но с промежуточным позиционированием рук

Продолжение табл. 2.3

Номер в группе	Назначение ПР	Модель	Грузоподъемность (кг) на число рук	Конструктивное исполнение
Б5	ПР агрегатной конструкции для обслуживания прессов	МА5Ц42.01	2,5×2	То же, что МА2,5Ц42.01
		МА5Ц42.02	1,6×3	То же, что МА2,5Ц42.02
		МА5Ц42.03	5,0×1	То же, что МА2,5Ц42, но однорукое
Б6	ПР агрегатной конструкции	МА10Ц42.01	5,0×2	То же, что МА5Ц42.01
		МА10Ц42.02	3,2×3	То же, что МА5Ц42.02
Б7	ПР для загрузки-выгрузки заготовок при обслуживании прессов усилием 10 000...25 000 кН	КМ10Ц31.01	10×1	Напольное с выдвигной рукой и качающейся кистью
Б8	ПР для обслуживания прессов усилием 25 000...65 000 кН	КМ40Ц31.01	40×1	Напольное с выдвигной рукой и качающейся кистью

2.4. Промышленные роботы для обслуживания металлорежущих станков (группа В)

Номер в группе	Назначение ПР	Модель	Грузоподъемность (кг) на число рук	Конструктивное исполнение
B1	ПР для обслуживания металлорежущих станков	M10П62.01	10×1	ПР встроены в станок
B2	ПР для обслуживания металлорежущих станков	M20П40.01	20×1	ПР напольной конструкции
B3	ПР для обслуживания металлорежущих станков	M20П40.01	20×1	
B4	ПР агрегатной конструкции для обслуживания металлорежущих станков	M20Ц48.01	10×2	Базовая модель агрегатной гаммы, включающая полный набор модулей То же, что M20Ц48.01, но без поворота кисти руки То же, что M20Ц48.01, но в одноруком исполнении (может оснащаться двойным схватом) То же, что M20Ц48.02, но в одноруком исполнении
		M20Ц48.02	10×2	
		M20Ц48.11	10×2	
		M20Ц48.12	10×2	

Продолжение табл. 2.4

Номер в группе	Назначение ПР	Модель	Грузоподъемность (кг) на число рук	Конструктивное исполнение
В4	ПР агрегатной конструкции для обслуживания металлорежущих станков	M20Ц05.01	10×2	То же, что M20Ц48.01, но без качания рук
		M20Ц05.02	10×2	То же, что M20Ц05, но без поворота кисти руки
		M20Ц05.11	10×2	То же, что M20Ц05.01, но в одноруком исполнении
		M20Ц05.12	10×2	То же, что M20Ц05.11, но без поворота кисти руки
B5	ПР для обслуживания металлорежущих станков с горизонтальной осью шпинделя	M40П08.01	20×2	Портальное двурукое с вертикальным перемещением рук
B6	ПР для обслуживания металлорежущих станков с горизонтальной осью шпинделя	СМ40Ф2.80.01	40×1	То же, что M40П08.01, но с двухзвенной рукой рычажного типа

Продолжение табл. 2.4

Номер в группе	Назначение ПР	Модель	Грузоподъемность (кг) на число рук	Конструктивное исполнение
В7	В7.1	М40П05.02	40×1 (при двух схватах 40×2)	Базовая модель гаммы (имеет одно- или двухзахватное исполнение)
	В7.2	М40П05.03	40×1 (при двух схватах 40×2)	То же, что М40П05.02, но без поворота кисти со схватом
В8	ПР для обслуживания токарных станков моделей 1620Ф3019 и 16К20Т1	ОМ80Ц48.15	40×2	Портальное, двурукое с выдвинутой рукой
В9	ПР для обслуживания станков при обработке валов	МА80Ц49.01	40×2	Портальное, имеет несколько модификаций, различающихся величинами перемещений рук

Продолжение табл. 2.4

Номер в группе	Назначение ПР	Модель	Грузоподъемность (кг) на число рук	Конструктивное исполнение
В10	В10.1	МА80Ц48.01	40×2	Базовая модель
	В10.2	МА80Ц25.01	40×2	Базовая модель без качания рук с тактовым столом
	В10.3			
	В10.4	МА80Ц25.05		
В11	ПР агрегатной конструкции напольного типа	МА80Ц40.01	40×2	Напольное, поворотное с выдвигной рукой и механизмом подъема
В12	ПР многоцелевого назначения	УМ160Ф2.81.01	160×1	Портальное с шарнирной конструкцией руки
В13	В13.1	МА160П51.01	160×1	Портальное однорукое с шарнирной конструкцией
	В13.2	МА160П01.02	160×1	То же, что МА160П51.01, но без качания руки и с шаговым приводом поворота кисти

2.3. МАНИПУЛЯЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА РОБОТОВ

Промышленный робот как машина состоит из двух основных частей – исполнительных устройств и устройства управления. В свою очередь исполнительные устройства включают один или несколько механических манипуляторов, которые являются отличительным признаком роботов как нового типа машин в целом, а также устройства передвижения, имеющиеся только у подвижных роботов. Компоновочные схемы ПР представлены на рис. 2.1.

Основным типом манипуляционных устройств служат механические манипуляторы. Они представляют собой разомкнутую кинематическую цепь, составленную из кинематических пар, имеющих одну, реже две степени подвижности с поступательным или угловым перемещением рабочего органа, расположенного на конце манипулятора, и привод, чаще всего отдельный для каждой степени подвижности.

Степени подвижности манипулятора делятся на переносные и ориентирующие. Первые служат для перемещения объекта манипулирования в пределах рабочей зоны, вторые – для его ориентации.

Теоретически минимально необходимое число переносных степеней подвижности для перемещения объекта манипулирования в любую точку равно трем. Однако для расширения манипуляционных возможностей (например, для обхода препятствий, повышения быстродействия и т.п.) манипуляторы обычно снабжают несколькими избыточными переносными степенями подвижности.

Максимальное необходимое число ориентирующих степеней подвижности равна трем. Обычно они реализуются кинематическими парами с угловым перемещением, обеспечивающими поворот рабочего органа манипулятора относительно его продольной и двух других взаимно перпендикулярных осей.

Приводы манипулятора могут быть электромеханическими, гидравлическими и пневматическими. Их обычно размещают непосредственно в звеньях манипулятора или выносят на его основание с передачей движения на соответствующее звено через различного типа передаточные механизмы.

Система координат звеньев руки манипулятора		Рабочая зона	(Обозначения звеньев (конструктивные))	Компоновочная схема и ее индекс								
ДЕКАРТОВА				01	02	03	04	05	23	22	21	25
ПЛОСКАЯ												
ПЛОСКАЯ												
ПЛОСКАЯ												
ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ												
СФЕРИЧЕСКАЯ												
СЛОЖНАЯ												

Рис. 2.1. Компоновочные схемы промышленных роботов:

L – вертикальное перемещение руки; L_1 – горизонтальное перемещение руки; H – вертикальное перемещение корпуса (каретки) манипулятора; H_1 – линейное перемещение кисти руки; ϕ – угол поворота звеньев руки; α – угол поворота кисти руки; β , β_1 – углы качания кисти руки

Место размещения приводов в значительной степени определяет конструкцию манипулятора. Размещение приводов в звеньях манипулятора упрощает кинематические связи, что также способствует повышению точности. Недостатком такой компоновки является увеличение массы подвижной части манипулятора. Последнее ведет к снижению его грузоподъемности и динамических параметров. В связи с этим обычно, оптимизируя конструкцию манипуляторов, прибегают к комбинации двух вариантов размещения приводов для различных степеней подвижности.

На рис. 2.2 показаны структурно-кинематические схемы манипуляторов в различных системах координат и их рабочие зоны.

В прямоугольной системе координат манипулируемый объект перемещается по двум (рис. 2.2, а) или трем (рис. 2.2, б, в) взаимно перпендикулярным осям. В полярной системе координат распространены следующие виды перемещений: плоские – перемещение в одной плоскости в направлении радиуса-вектора r и угла φ (рис. 2.2, г); цилиндрические поверхностные – в направлении z и угла φ (рис. 2.2, д); цилиндрические объемные – по радиусу-вектору r оси z и углу φ при r , перпендикулярном z (рис. 2.2, е); сферические – линейное перемещение по r и угловые перемещения по углам φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 2.2, ж). В ангулярной (угловой) системе координат распространены следующие виды перемещения объекта манипулирования: плоские – перемещение в одной плоскости за счет угловых поворотов звеньев руки манипулятора (рис. 2.2, з); цилиндрические – в одной плоскости за счет поворотов звеньев руки манипулятора и в перпендикулярном к ней направлении z (рис. 2.2, и); сферические – за счет относительных угловых поворотов звеньев манипулятора, причем одно из звеньев поворачивается в плоскости, перпендикулярной плоскости поворота другого звена (рис. 2.2, к).

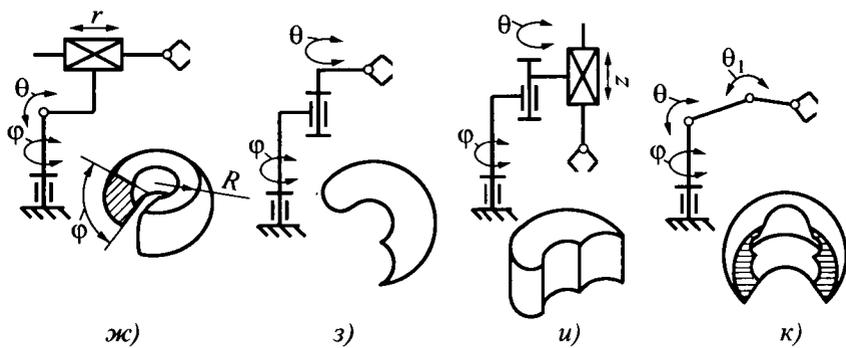
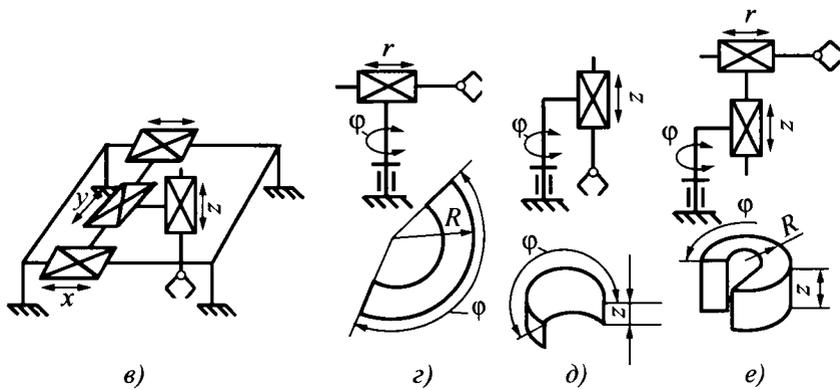
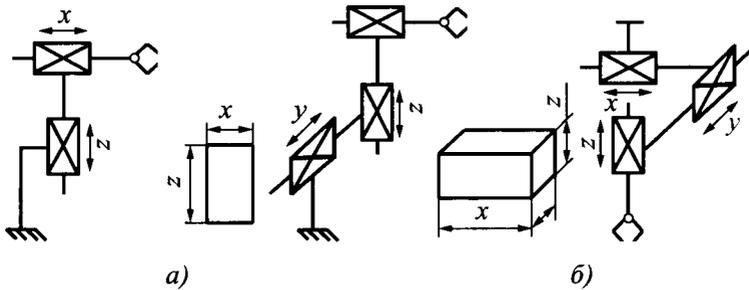
Роботы, имеющие плоскую прямоугольную (рис. 2.2, а), полярную (рис. 2.2, г), цилиндрическую поверхностную (рис. 2.2, д) и ангулярную (угловую) (рис. 2.2, з) системы координат применяются для выполнения простейших основных и вспомогательных операций. Большое распространение получили ПР, имеющие прямоугольную пространственную (рис. 2.2, б, в) и полярную

цилиндрическую объемную (рис. 2.2, *е*) системы координат. Такие роботы обеспечивают высокую точность позиционирования и достаточно большое рабочее пространство. Однако роботы (рис. 2.2, *б, е*) не могут создать значительной силы по вертикальной оси z – у них может быстро изнашиваться узел выдвижения руки при манипулировании тяжелыми объектами, что приводит к снижению точности позиционирования. Применение ПР порталного типа (рис. 2.2, *в*) с прямоугольной пространственной системой координат позволяет достигнуть высокой жесткости и динамической устойчивости. К недостаткам роботов этого типа следует отнести громоздкость и массивность их конструкций, ограниченность рабочего пространства. Роботы с полярной сферической системой координат (рис. 2.2, *ж*) имеют ограниченное применение из-за сложности системы программирования их работы.

В последнее время все большее применение получают угловая цилиндрическая (рис. 2.2, *и*) и сферическая (рис. 2.2, *к*) системы координат. Такие роботы имеют относительно высокую жесткость конструкции, точность позиционирования и большое рабочее пространство. Они способны выполнять сложные движения в пространстве с достаточно высокой скоростью. Всем вышеперечисленным системам координат обычно соответствуют определенные компоновочные схемы (рис. 2.1), вид их определяется конструкцией поступательных и вращательных звеньев.

Манипуляторы, работающие в прямоугольной системе координат, имеют рабочую зону в виде параллелепипеда. Здесь осуществляют только поступательные перемещения, поэтому такая система наиболее удобна для выполнения прямолинейных движений. Кроме того, она максимально упрощает программирование робота, так как оно обычно выполняется именно в прямоугольной системе координат, и, следовательно, в этом случае не требуется пересчета программ из одной системы координат в другую.

В манипуляторах, работающих в цилиндрической системе координат, наряду с поступательными перемещениями производится одно угловое перемещение (по окружности). Соответственно, рабочая зона имеет форму цилиндра.



В случае сферической системы координат осуществляются уже два угловых перемещения и рабочей зоне присуща форма шара. Роботы с такой системой координат, как правило, сложнее, чем с цилиндрической, однако компактнее.

Манипулятор с угловой (ангулярной) системой координат производит только угловые перемещения, т.е. все его звенья представляют собой шарниры. В связи с этим также манипуляторы называют шарнирными или антропоморфными. Роботы с такого рода манипуляторами благодаря возможности последних складываться, практически не выступая за габарит основания робота, обладают наибольшей контактностью, хотя и наиболее сложны в управлении. Представленные манипуляторы имеют по три степени подвижности. Однако поскольку манипуляторы реальных роботов в большинстве случаев содержат большое количество звеньев и, соответственно, обладают избыточностью по числу степеней подвижности, в них чаще всего реализуются различные комбинации рассмотренных выше основных типов систем координат с разным



Рис. 2.2. Структурно-кинематические схемы роботов и формы их рабочих зон:

в прямоугольной системе координат: *a* – по двум взаимно-перпендикулярным осям; *b* – по трем взаимно-перпендикулярным осям; *в* – по трем взаимно-перпендикулярным осям;

в полярной системе координат: *г* – плоские – в одной плоскости в направлении радиуса-вектора r и угла φ ; *д* – цилиндрические поверхностные – в направлении z и угла φ ; *е* – цилиндрические объемные – по радиусу-вектору r оси z и углу φ при r , перпендикулярном z ;

ж – сферические – линейное перемещение по r и угловые перемещения по углам φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

в ангулярной (угловой) системе координат: *з* – плоские – в одной плоскости за счет угловых поворотов звеньев руки манипулятора; *и* – цилиндрические – в одной плоскости за счет поворотов звеньев руки манипулятора и в перпендикулярном к ней направлении; *к* – сферические – за счет относительных угловых поворотов θ и θ_1 звеньев манипулятора, причем одно из звеньев поворачивается в плоскости, перпендикулярной плоскости поворота другого звена

соотношением между числом подвижности с поступательным и угловым перемещением. Наряду с дальнейшим совершенствованием механических манипуляторов ведутся работы по созданию принципиально новых типов манипуляционных устройств (например, для манипулирования с помощью управляемого электронного поля, для сварки электронным или лазерным лучом и др.).

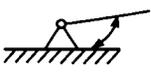
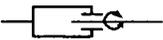
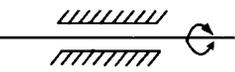
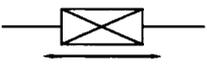
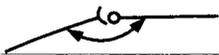
Манипулятор состоит из звеньев, соединенных между собой определенным образом. Одно звено является основанием (базой), относительно которого осуществляется отсчет перемещения и ориентации звена, представляющего собой рабочий орган манипулятора. Два соседних звена составляют кинематическую пару, число степеней свободы которой определяется числом независимых движений одного звена пары относительно другого. В большинстве случаев звенья манипуляторов образуют кинематические пары пятого класса, в которых относительное движение звеньев определяется одним параметром: углом поворота или перемещением. В первом случае имеет место пара вращательного типа, во втором – поступательного.

Соединение звеньев манипуляторов в кинематическую цепь осуществляют с помощью кинематических пар, основные типы которых представлены в табл. 2.5.

Пара «шаровой шарнир» имеет три степени свободы и может рассматриваться как совокупность трех кинематических пар вращательного типа с одной степенью свободы у каждого.

В большинстве конструкций ПР нашли применение кинематические пары пятого класса, т.е. пары, обладающие одной степенью подвижности, которая обеспечивает возможность поступательного либо углового перемещения относительно оси кинематической пары. Совокупность некоторого числа подвижных звеньев обеспечивает механизму определенное число степеней подвижности. Числом степеней подвижности W кинематической цепи называют число степеней подвижности кинематической цепи относительно звена, принятого за неподвижное.

2.5. Условные обозначения элементов структурных кинематических схем ПР

Наименование		Условное обозначение
Кинематическая пара типа 1	Изгиб	
	Изгиб с одним закрепленным звеном	
Кинематическая пара типа 2	Вращение	
	Вращение с одним закрепленным звеном	
Кинематическая пара типа 3	Линейное перемещение	
Кинематическая пара типа 4	Шаровой шарнир	

Число степеней подвижности определяют по формуле Соснова–Малышева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (2.1)$$

где n – число подвижных звеньев кинематической цепи; p_5, p_4, p_3, p_2, p_1 – число кинематических пар соответственно 5-, 4-, 3-, 2-, 1-го класса.

Для кинематической цепи, образованной только парами 5-го класса,

$$W = 6n - 5p_5. \quad (2.2)$$

В открытых кинематических цепях, к которым относятся механические системы ПР, число подвижных звеньев всегда равно числу пар:

$$n = p_5 + p_4 + p_3 + p_2 + p_1.$$

Таким образом,

$$W = p_5 + 2p_4 + 3p_3 + 4p_2 + 5p_1. \quad (2.3)$$

2.4. ПРИВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

2.4.1. Назначение приводов и особенности применения

Привод ПР – совокупность технических средств, предназначенных для приведения в движение всех звеньев кинематики и захватного устройства манипулятора в соответствии с требуемыми условиями технологического процесса [8, 10, 12].

В зависимости от вида энергии, используемой для движения исполнительного механизма робота, приводы бывают пневматическими, электрогидравлическими и электрическими.

В роботах нашли применение практически все известные типы приводов: электрические, пневматические и гидравлические с поступательным и вращательным движением; регулируемые (по положению, скорости и т.д.) и нерегулируемые; замкнутые (с обратной связью) и разомкнутые; непрерывного и дискретного действия (в том числе шаговые). Около 50 % роботов в мире выполнены на пневматических приводах, на гидравлических приводах – 30 % и 20 % – на электрических, причем доля последних неуклонно растет.

Выбор типа привода является частью общей задачи при разработке и создании робота новой конструкции. При этом необходимо учитывать:

- характер нагрузки на привод;
- кинематические параметры манипуляторов, т.е. необходимые угловые и линейные перемещения, скорости, законы движения рабочего органа;
- число точек и точность позиционирования или точность воспроизведения траектории;
- физическое состояние объекта, перемещаемого рабочим органом манипулятора (твердое, хрупкое, жидкое тело);
- условия эксплуатации робота и, прежде всего, характеристики окружающей среды: пожароопасность, загрязнение, температуру, механические воздействия, ресурс, экономичность и другие факторы.

Энергетические, массовые, точностные и динамические характеристики роботов во многом определяются типом используемого привода. Кроме того, тип привода определяет возможности системы управления или степень интеллектуальности робота.

Все типы приводов ПР широко применяют в различных областях техники, однако использование приводов в ПР имеет специфические особенности.

Современные ПР имеют большое число степеней подвижности (как правило, 6–7); каждая из них обеспечивается исполнительным двигателем привода. Для выполнения общей конкретной технологической операции необходимо групповое управление исполнительными двигателями привода, т.е. с точки зрения управления привод робота рассматривается как система.

Широко изменяется диапазон нагрузок на привод с преобладанием инерционных нагрузок, что во многом предопределяет выбор типа привода.

Требуется высокая точность исполнительного органа манипулятора при позиционировании. При этом, чтобы исключить возможность ударов рабочего органа, отработка траектории или заданной координаты должна производиться без перерегулирования. Если учесть, что манипулятор имеет несколько пневматических пар, то к приводу предъявляют требование многократно увеличенной точности.

Требуется большие ресурсы работы при значительных динамических нагрузках и безрегламентной эксплуатации.

Привод длительно работает в заторможенном режиме.

2.4.2. Электрогидравлические приводы

Электрогидравлический привод обладает рядом достоинств:

- большой грузоподъемностью;
- высоким быстродействием;
- высокой стабильностью скорости входного звена при изменении нагрузки в широком диапазоне, высокую точность позиционирования, высокую частоту реверсирования движения, так как в качестве рабочего тела используется несжимаемая жидкость;

- бесступенчатостью регулирования скорости выходного звена;
- высоким коэффициентом усиления по мощности (более 1000), а также КПД при различных способах регулирования;
- малой относительной массой гидромашин;
- отсутствием дополнительных кинематических цепей между выходным звеном привода и рабочим органом робота.

К недостаткам электрогидравлических приводов следует отнести:

- потребность в специальных насосных установках, устанавливаемых в конструкции робота, что резко увеличивает массу робота;
- использование в основном рабочей жидкости на нефтяной основе исключает возможность применения роботов с таким приводом в пожаро- и взрывоопасной среде, кроме того, наличие паров жидкости на нефтяной основе плотностью 5 г/м^3 (ГОСТ 12.1.005–76) является опасным для здоровья;
- ограниченный ресурс рабочей жидкости, что приводит к частой смене всего объема жидкости, который в насосной установке достигает значительной величины и увеличивает стоимости обслуживания;
- более высокую стоимость элементов данного привода, чем элементов пневматического и электрического привода;
- предел температур жидкости привода ограничен $150 \text{ }^\circ\text{C}$, что приводит к невозможности эксплуатации ПР с таким приводом в среде с повышенной температурой; кроме того, с изменением температуры жидкости в процессе работы изменяются свойства жидкости, а следовательно, и скорость выходного звена.

2.4.3. Пневматические приводы

ПР с пневматическими приводами обладают грузоподъемностью до 20 кг (при мощности 60...800 Вт) для одной степени подвижности.

Преимуществами пневматических приводов при использовании в ПР являются:

- простота и надежность конструкции;
- высокая скорость выходного звена привода: при линейном перемещении до 1000 мм/с , при вращении – до 60 мин^{-1} ;

- использование сжатого воздуха в качестве рабочей среды;
- возможность использования сжатого воздуха из заводской пневмосети с давлением 0,5...0,6 МПа;
- простое цикловое управление: позиционирование производится с помощью перенастраиваемых упоров;
- высокая точность позиционирования по точкам, определяемых жесткими упорами;
- возможность работы в агрессивной и пожароопасной среде;
- отсутствие промежуточных передаточных звеньев между выходным звеном привода и рабочим органом робота;
- малая относительная масса конструкции привода на единицу развиваемой мощности;
- простота компоновки элементов пневмопривода;
- низкая стоимость как самого привода, так и затрат на его обслуживание;
- малая чувствительность к ударным перегрузкам и вибрациям;
- возможность использования сжатого воздуха как среды для передачи команд управления и построение схем автоматики на базе пневмоэлементов.

К недостаткам пневматического привода следует отнести:

- нестабильность скорости выходного звена при изменении нагрузки вследствие сжимаемости рабочего тела;
- ограниченность числа точек позиционирования (чаще всего две) в приводах с цикловым управлением (увеличение числа точек позиционирования требует использования специальных конструкций позиционирующих устройств);
- необходимость демпфирования движения выходного звена привода в конце хода, так как при больших скоростях движения выходного звена при подходе к упорам возможны сильные удары рабочего органа робота по упорам;
- наличие шума при работе привода.

2.4.4. Электропривод

В ПР нашли применение электроприводы следующих типов:

- на двигателях постоянного тока с аналоговым и цифровым управлением;

- на асинхронных двигателях как нерегулируемых (с цикловым управлением), так и с частотным управлением;
- на шаговых двигателях;
- на различного типа регулируемых муфтах в сочетании с нерегулируемым асинхронным двигателем или двигателем постоянного тока;
- на электромагнитах.

В основном применяют электроприводы с наиболее традиционным угловым перемещением, т.е. вращающиеся. Однако в связи с распространением в роботах поступательных перемещений наряду с электроприводами, основанными на вращающихся двигателях в комбинации с механизмами, преобразующими вращательное движение в поступательное (типа передачи шестерня–рейка), используют специальные линейные приводы постоянного или переменного тока.

Электроприводы новых серий, используемых в ПР, – это приводы с высокомоментными двигателями постоянного тока, бесколлекторными двигателями постоянного тока и силовыми шаговыми двигателями. Электродвигатели этих серий в большом диапазоне моментов обеспечивают повышенную максимальную скорость, имеют улучшенные массогабаритные показатели.

Особенностями электроприводов являются: расширенный (до 0,05 нм) диапазон малых моментов, повышенная (до $15 \cdot 10^3$ об/мин) частота вращения, уменьшенная инерция двигателей, возможностьстройки в двигатели электромагнитных тормозов и различных датчиков, а также механических и волновых передач.

Достоинства электроприводов:

- компактность;
- высокое быстродействие;
- равномерность вращения;
- высокий вращающий момент на максимальной скорости;
- высокая надежность;
- высокая точность (за счет применения цифровой измерительной системы с высокоточным импульсным датчиком);

- низкие уровни шума и вибрации;
- компактная конструкция преобразователей;
- доступность электроэнергии.

Недостатки электроприводов:

- наличие щеток в коллекторах двигателя постоянного тока;
- ограниченное использование во взрывоопасных средах;
- большая зависимость выходного звена от нагрузки, что приводит к необходимости создания дополнительных контуров регулирования привода;
- наличие дополнительной кинематической цепи между электродвигателем и рабочим органом робота.

2.4.5. Проектирование пневматических приводов ПР

Расчет и выбор пневмоприводов включает несколько этапов:

- определение физических параметров и свойств рабочей среды – сжатого воздуха;
- получение исходных значений давления и расхода сжатого воздуха;
- выбор типа исполнительных устройств и их конструктивных параметров;
- определение динамических свойств исполнительных устройств и динамики системы управления.

Функционально пневмопривод с цикловым управлением (рис. 2.3) можно разделить на следующие узлы:

- блок подготовки воздуха;
- блок распределения сжатого воздуха;
- блок исполнительных двигателей (в данном случае один);
- система передачи сжатого воздуха между устройствами привода.

Сжатый воздух через выходной штуцер, вентиль, влагоотделитель, редукционный пневмоклапан, маслораспылитель по пневмолиниям поступает к соответствующим распределительным устройствам. Использование влагоотделителя обусловлено отрицательными факторами, которые оказывает влага в рабочем воздухе

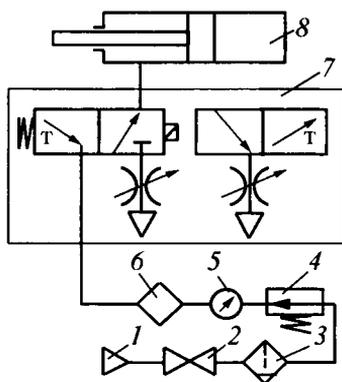


Рис. 2.3. Схема пневмопривода двухстороннего действия:

- 1 – входной штуцер; 2 – вентиль;
- 3 – влагоотделитель; 4 – редукционный пневмоклапан; 5 – манометр;
- 6 – маслораспылитель; 7 – распределительные устройства;
- 8 – пневмоцилиндр

на работоспособность пневматических устройств. Конденсируясь на деталях, влага вызывает их коррозию, увеличивает трение на трущихся поверхностях деталей, а при отрицательных температурах способствует уменьшению проходных сечений за счет образования льда на внутренних поверхностях деталей. С помощью редукционного пневмоклапана производится предварительная настройка давления сжатого воздуха. Маслораспылитель обеспечивает распыление масла, необходимого для смазки перемещающихся элементов исполнительного двигателя и распределителей в потоке сжатого воздуха. За редукционным пневмоклапаном установлен манометр для контроля давления воздуха. Блок подготовки воздуха является обязательным для ПР. В одних конструкциях данная схема предусматривается для каждого робота, в других – подготовка воздуха производится централизованно для группы роботов. Блок распределения сжатого воздуха включает в себя устройства, с помощью которых по заданной программе можно открыть или закрыть доступ сжатого воздуха в рабочие полости исполнительных двигателей. В качестве распределителей служат устройства, где запорными элементами являются золотники или клапаны. Обычно используется пневмораспределители с управлением от электромагнита. Но при определенных условиях (работа в агрессивной или взрывоопасной среде, высокий уровень радиации и др.) используются пневмораспределители с пневматическим управлением. Такие устройства выполняют обычно на базе уни-

версальных систем типа УСЭППа – универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики.

Для цикловых роботов управление пневмораспределителем осуществляют по двухпозиционному принципу "открыто-закрыто".

Канал сообщения изображают стрелкой, показывающей направление потока жидкости или газа в каждой позиции; места соединений выделяют точками; закрытый ход изображают тупиковой линией с поперечным отрезком. Внешние линии подводят на схеме к исходной позиции. Чтобы представить рабочее состояние распределителя, необходимо на схеме мысленно передвинуть соответствующий квадрат обозначения на место исходной позиции, оставляя линии связи в прежнем положении. Истинное направление потока рабочего тела укажут проходы этого тела.

В качестве блока исполнительных двигателей обычно используют цилиндры с прямолинейным движением поршня одно- или двустороннего действия. На каждую степень подвижности предусматривают исполнительный двигатель, конструкция которого обеспечивает заданные линейные перемещения скорости и силы.

Подачу воздуха в рабочую полость цилиндра осуществляют через открытое соответствующее распределительное устройство, при этом выход воздуха из нерабочей полости цилиндра в атмосферу осуществляется через другой открытый распределитель.

Рабочий цикл выполняется каждым двигателем в последовательности, которая определяется требованиями технологического процесса. Включение и выключение необходимого распределителя осуществляется по программе, выполняемой управляющим устройством. Регулирование скорости выходного звена в пневмоприводах обычно выполняется изменением расхода сжатого воздуха на входе или выходе двигателя. Конструктивно это выполняется в виде пневматического дросселя, где проходное сечение можно регулировать в зависимости от требуемой скорости. Использование энергии сжатого воздуха обеспечивает выходному звену пневмопривода высокую скорость. Поэтому в конструкциях пневмоприводов предусматривают специальные средства торможения. Торможение поршня в конце хода выполняется различными способами:

- специальным дросселированием рабочего тела на выходе из полости опорожнения в конце хода поршня;
- торможением (демпфированием) поршня устройствами гидравлического или пружинного типа.

Пневматические исполнительные механизмы – устройства, преобразующие энергию сжатого воздуха в энергии перемещения выходного механического звена привода.

Циклограмма пневматического привода показана на рис. 2.4.

Сумма времени прямого и обратного хода составляет время рабочего цикла $T_{ц}$.

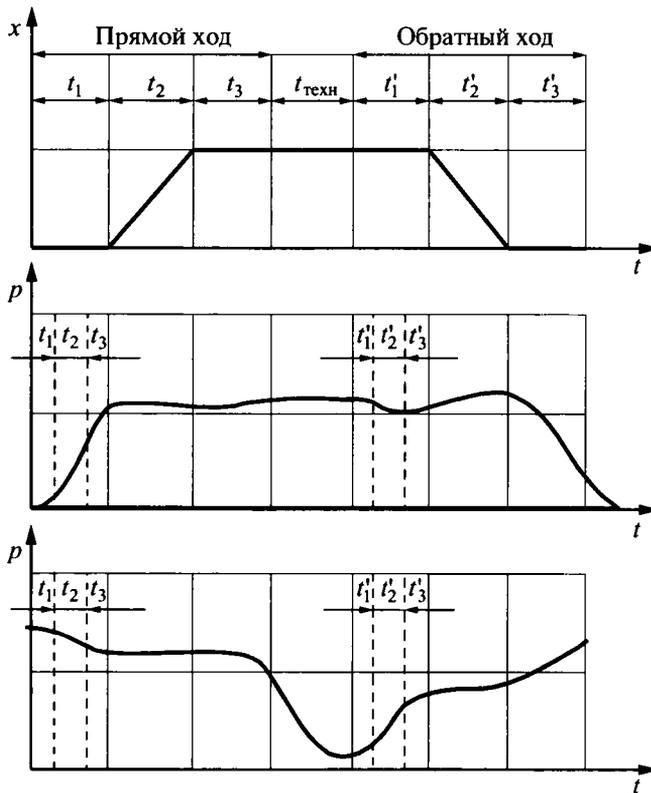


Рис. 2.4. Циклограмма пневматического привода

Время подготовительного периода, в свою очередь, складывается из следующих интервалов: t_1 – время срабатывания распределителя; t_2 – время распространения волны давления от распределителя до цилиндра; t_3 – время изменения давления в рабочей полости до начала движения поршня.

Время заключительного периода состоит из аналогичных интервалов времени t'_1 , t'_2 , t'_3 .

Время перемещения поршня и давления p в рабочей полости цилиндра одностороннего действия можно определить из совместного решения уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dp_1}{dt} = \frac{RT}{F} \frac{G - p_1}{V_0 + x} \frac{dx}{dt}; \\ F(p_1 - p_2) = m_n \ddot{x} + \alpha \dot{x} + cx + \sum_{i=1}^k N_i, \end{cases} \quad (2.4)$$

где R – газовая постоянная [для воздуха $R = 287,14$ Дж/(кг·К)]; G – расход воздуха в рабочую полость; V_0 – начальный объем рабочей полости; $m_n \ddot{x}$ – сила преодоления инерционности массы подвижных частей привода (m_n); $\alpha \dot{x}$ – величина, учитывающая демпфирование, которое возникает при утечке воздуха между поршнем и стенками цилиндра; cx – величина, учитывающая сопротивление пружины; $\sum_{i=1}^k N_i$ – сумма сил, действующих на поршень (трение, постоянное внешнее усилие и др.).

На практике данная схема уравнений вследствие нелинейности 1-го уравнения решается численным интегрированием.

Изменение давления в каждой полости привода двустороннего действия, время перемещения и координаты поршня в заданный момент времени можно оценить совместным решением системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{RT}{F} G_{\text{наг}} = \frac{dp_1}{dt} \left(\frac{V_{0\text{наг}}}{F_1} + x \right) + p_1 \frac{dx}{dt}; \\ -\frac{RT}{F} G_{\text{оп}} = \frac{dp_2}{dt} \left(\frac{V_0}{F_2} - x \right) - p_2 \frac{dx}{dt}; \\ p_1 F_1 - p_2 F_2 = m_n \ddot{x} + \alpha \dot{x} + cx + \sum_{i=1}^k N_i, \end{array} \right. \quad (2.5)$$

где $G_{\text{наг}}$, $G_{\text{оп}}$ – расход воздуха в полости нагнетания и опорожнения; $V_{0\text{наг}}$; V_0 – начальные объемы полостей нагнетания и опорожнения; p_1 ; F_1 ; p_2 ; F_2 – давление и рабочая площадь поршня соответственно в левой и правой полостях цилиндра.

Система уравнений (2.5) также решается численным интегрированием.

В практических расчетах для определения расхода воздуха используются следующие формулы:

для докритического истечения

$$G = \mu f p_1 \sqrt{\frac{2}{RT_2} \left(\frac{p}{p_1} \right) \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \right)}; \quad (2.6)$$

для надкритического режима

$$G = \mu f p_1 \sqrt{0,5 RT_2},$$

где μ – коэффициент расхода (критическое отношение давлений $p_{x\text{кр}} = 0,5282$).

2.4.6. Электрогидравлические приводы ПР

Гидроприводы широко используют в ПР большой (50...100 кг) и сверхбольшой (более 100 кг) грузоподъемности. Особенностью ПР большой и сверхбольшой грузоподъемности является наличие не только значительной полезной нагрузки, но и преобладание в ней инерционных нагрузок от подвижных звеньев робота [18].

Гидроприводы реализуются тремя различными схемами:

- с постоянным давлением рабочей жидкости в системе с производительностью гидравлического насоса;

- с постоянным давлением рабочей жидкости в системе и переменной производительностью гидравлического насоса;
- с переменным давлением рабочей жидкости в системе с производительностью гидравлического насоса.

Первые две схемы называют гидроприводами дроссельного управления, а третью – гидроприводом объемного управления.

В существующих ПР применяют преимущественно первые две схемы и практически не применяют третью.

Отношение грузоподъемности к собственной массе современных ПР сверхбольшой грузоподъемности составляет примерно 0,5. С уменьшением грузоподъемности это отношение снижается до 0,03, поэтому инерционные нагрузки на привод в таких роботах могут быть приблизительно в 10 раз больше, чем инерционность полезной нагрузки.

Как правило, ПР с гидроприводами имеют универсальное применение, манипуляторы снабжаются шестью степенями подвижности вращательного и поступательного действия с точностью позиционирования до $\pm 0,5$ мм и объемами рабочих зон более 30 м³ [роботы УМ-1, "Универсал 50М" (СССР), "Юнилит", "Версагран 500" (США), "РВ", "Юнимен 2000" (Япония)].

В гидроприводах дроссельного управления изменение скорости движения подвижного элемента осуществляется за счет дросселирования потоков рабочей жидкости на входе или выходе исполнительного двигателя или за счет сочетания этих способов дроссельного управления. При этом система из нескольких следящих гидроприводов питается от одного насоса постоянной или переменной производительности. Дросселирование потоков рабочей жидкости осуществляется изменением проходных сечений золотникового распределителя, определяемых положением кромок золотника относительно проточек золотниковой втулки. Скорость перемещения гидродвигателя тем выше, чем больше проходное сечение золотникового распределителя, т.е. большие смещения золотника относительно золотниковой втулки.

Особенность схемы на рис. 2.5 состоит в том, что гидронасос постоянной производительности снабжает рабочей жидкостью имеющиеся потребители и его производительность равна сумме

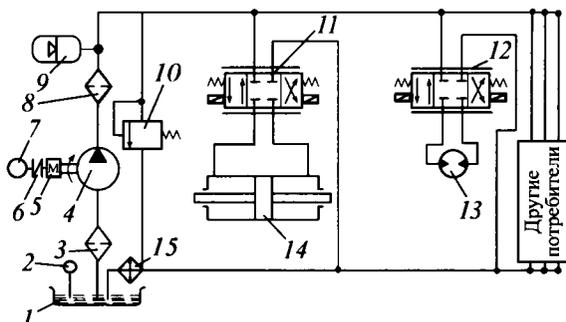


Рис. 2.5. Обобщенная функциональная схема гидроприводов дроссельного управления с гидронасосом постоянной производительности: 1 – бак; 2 – температурное реле; 3 – заборный фильтр; 4 – гидронасос постоянной производительности; 5 – электродвигатель; 6 – упругая муфта; 7 – вентилятор; 8 – фильтр тонкой очистки; 9 – пневмогидравлический аккумулятор; 10 – переливной клапан; 11 – золотниковый распределитель гидроцилиндра; 12 – золотниковый распределитель гидромотора; 13 – гидромотор; 14 – гидроцилиндр; 15 – теплообменник

максимальных расходов потребителей. В том случае, если один или несколько потребителей не расходуют рабочую жидкость, ее избыток перепускается в сливную магистраль через переливной клапан. При этом потенциальная энергия рабочей жидкости высокого давления переходит в тепловую энергию, нагревая жидкость. Золотниковые распределители, управляющие гидроцилиндрами и гидромоторами, также превращают часть потенциальной энергии рабочей жидкости высокого давления в тепловую энергию.

Энергетические характеристики рассматриваемой схемы низкие: значительное количество потенциальной энергии рабочей жидкости высокого давления превращается в тепловую; электродвигатель и гидронасос имеют завышенные массу и мощность. Для поддержания температуры рабочей жидкости и всей конструкции в допустимых пределах (до +80 °С) используют избыточную рабочую жидкость в системе и ее охлаждение с помощью теплообменника и вентилятора.

Для некоторого сокращения дросселирования рабочей жидкости через переливной клапан занижается производительность на-

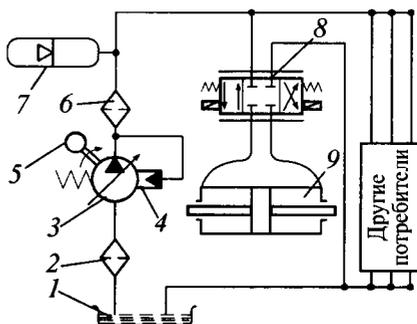
соса, а кратковременный избыточный расход обеспечивается пневмогидравлическим аккумулятором.

Особенность схемы на рис. 2.6 состоит в том, что в ней имеется гидронасос 3 постоянной производительности, который по давлению в магистрали нагнетания изменяет производительность. В том случае, если подключается новый потребитель, давление в нагнетательной магистрали падает и срабатывает регулятор 4 производительности. Гидронасос увеличивает производительность, повышая давление в системе, и снабжает нового потребителя необходимым расходом. При отключении одного или нескольких потребителей от гидропитания давление в нагнетающей магистрали повышается, регулятор 4 производительности уменьшает производительность гидронасоса и давление в нагнетающей магистрали снижается до номинального. При этом обеспечивается баланс суммарного расхода на потребителях и производительности гидронасоса. Управление гидроцилиндрами и гидромоторами осуществляется в этих двух схемах (рис. 2.5 и 2.6) золотниковыми распределителями 8.

Энергетические характеристики схемы рис. 2.6 значительно лучше, чем рис. 2.5, так как отсутствует дросселирование рабочей жидкости в переливном клапане. При управлении гидродвигателями золотниковыми распределителями происходит дросселирование рабочей жидкости. Нагрев рабочей жидкости хотя и происходит, но значительно меньше и дополнительных мер по охлаждению,

Рис. 2.6. Обобщенная функциональная схема гидроприводов дроссельного управления с гидронасосом переменной производительности:

- 1 – бак; 2 – заборный фильтр;
- 3 – гидронасос переменной производительности; 4 – регулятор производительности насоса; 5 – электродвигатель; 6 – фильтр тонкой очистки;
- 7 – пневмогидравлический аккумулятор; 8 – золотниковый распределитель; 9 – гидроцилиндр



как правило, не требуется. Пневмогидравлический аккумулятор по второй схеме используется для стабилизации давления в нагнетающей магистрали от резкого ее изменения при подключении и отключении потребителя.

Необходимо отметить, что стоимость гидроприводов дроссельного управления с гидронасосом переменной производительности несколько выше, так как вместо простых шестеренных гидронасосов постоянной производительности используются дорогие плунжерные гидронасосы переменной производительности. Необходимо также подчеркнуть, что в ПР в качестве гидродвигателей в основном используют простые и дешевые гидроцилиндры, имеющие к тому же меньшие утечки жидкости, чем гидромоторы.

На рис. 2.7 показана типовая обобщенная индикаторная диаграмма работы гидравлического цилиндра (для рабочей полости), из которой видно, что в общем случае процесс работы гидравлического привода состоит из четырех периодов, характеризующихся временем t_1 ; t_2 ; t_3 и t_4 . В период времени t_1 происходит быстрое повышение давления в рабочей полости; поршень при этом неподвижен.

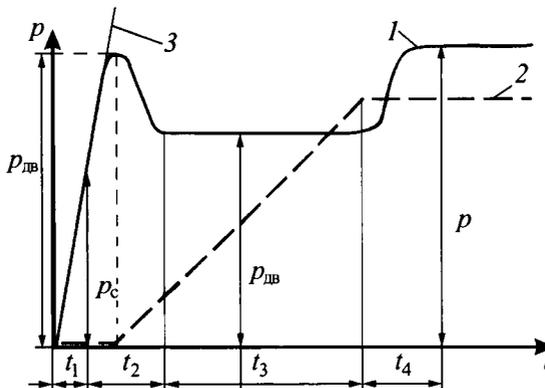


Рис. 2.7. Типовая обобщенная индикаторная диаграмма работы гидравлического цилиндра (для рабочей полости):

1 — давление в рабочей полости; *2* — ход поршня; *3* — упрощенная кривая изменения давления в рабочей полости

При достижении давления p_c , достаточного для преодоления сил статического сопротивления движению поршня, начинается разгон поршня (время t_2). В это время давление в рабочей полости повышается до давления $p_{дв}$, определяемого силами динамического сопротивления движению поршня, а затем начинает уменьшаться. В период прогонки t_3 происходит движение поршня. В период времени t_4 , когда движение поршня уже закончилось (поршень переместился на полный ход h), давление в рабочей полости поднимается до давления p , которое является расчетным для гидравлического привода. Для упрощения расчетов действительную индикаторную диаграмму заменяет приближенной (кривая 3), согласно которой движение поршня не происходит до момента достижения давления, равного p . В процессе движения поршня давление в рабочей полости постоянно и равно $p_{дв}$. В этом случае имеют место лишь два периода, характеризующиеся временем t_0 и $t_{дв}$.

При конструировании гидравлического привода, как правило, решаются две основные задачи: обеспечение необходимого тягового усилия; обеспечение заданного времени срабатывания привода. Под временем срабатывания гидравлического привода понимается время, прошедшее с момента срабатывания распределителя, до момента, когда гидравлический привод выполнил свои функции. В гидроприводах перемещения – это момент окончания перемещения поршня; в гидроприводах силовых устройств захватных органов – это момент, когда на истоке поршня разлилось полное рабочее усилие.

В общем случае расчетная тяговая сила, развиваемая на штоке поршня, равна:

$$Q_{р.п} = Q_{п} + Q_{под} + \sum T, \quad (2.7)$$

где $Q_{п}$ – рабочая тяговая сила, приведенная к штоку поршня; $Q_{под}$ – сила, затрачиваемая на преодоление сопротивлений от давления в полости подпора; $\sum T$ – сумма сил трения, возникающих в процессе работы гидроцилиндра, приведенных к штоку.

Рабочая тяговая сила определяется в зависимости от функции, которые выполняет гидропривод. Для гидроприводов силовых устройств рабочая тяговая сила принимается равной усилию схвата:

$$Q_{п} = Q_{р.з} \text{ (в гидроприводах перемещения } Q_{п} = 0).$$

Сила подпора определяется по формуле:

$$Q_{\text{под}} = p_{\text{п}} F_{\text{п}}, \quad (2.8)$$

где $p_{\text{п}}$ – давление подпора; $F_{\text{п}}$ – рабочая площадь поршня в полости подпора.

В горизонтальных гидравлических цилиндрах давление $p_{\text{п}}$ равно давлению в баке $p_{\text{б}}$. Для вертикальных цилиндров давление подпора определяется из условия статического равновесия:

$$p_{\text{п}} = \frac{G - \Sigma T}{F_{\text{п}}}, \quad (2.9)$$

где G – сила тяжести поршня и жестко связанных с ним узлов.

При работе гидропривода действуют силы трения, возникающие при движении штока и поршня ($T_{\text{шт}}$ и $T_{\text{пор}}$) и силы трения в приводимых механизмах ($T_{\text{дв}}$).

В общем случае

$$T_{\text{дв}} = T_{\text{н}} + T_{\text{оп}}, \quad (2.10)$$

где $T_{\text{н}}$ – сила трения в направляющих $T_{\text{н}} = \mu_1 (G_{\text{п}} + Q'_{\text{п}})$, μ_1 – коэффициент трения; $G_{\text{п}}$ и $Q'_{\text{п}}$ – нормальные составляющие силы тяжести движущихся частей и рабочей силы на плоскость движения; $T_{\text{оп}} = \Sigma T'_{\text{оп}}$ – суммарная сила трения в опорах и шарнирах вращающихся частей механизмов, связанных с приводом, и приведенная к штоку поршня.

Сила трения при движении поршня и штока с манжетным уплотнителем:

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{пор}} &= \mu_1 \pi DB p_x; \\ T_{\text{шт}} &= \mu_1 \pi db p_x, \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

где μ_1 – коэффициент трения о манжеты, равный 0,06...0,09; D и d – диаметры поршня и штока; B и b – высота манжет поршня и штока; p_x – давление в полости, которое может быть равно $p_{\text{дв}}$, $p_{\text{и}}$, p , p_{max} .

При уплотнении поршня с помощью поршневых колец сила трения равна

$$T_{\text{пор}} = \mu_1 \pi DBZ (p_y + p_x), \quad (2.12)$$

где Z – число поршневых колец; p_y – давление кольца на стенку цилиндра (90 кПа).

На основании обобщенной индикаторной диаграммы можно определить характер переходных процессов, т.е. найти максимальное ускорение, развиваемое в период разгона. Как видно из рис. 2.7, разгон происходит за время t_2 . Если принять, что давление $p_{дв} \approx \text{const}$, и исходить из уравнения движения, то получим:

$$(G/g)a = (p_{дв} - p_c) F_{п} - \Sigma T_{тр}, \quad (2.13)$$

где G – сила тяжести поршня и жестко связанных с ним деталей; g – ускорение силы тяжести; $p_{дв}$ – давление в полости в период разгона поршня; p_c – давление, необходимое для преодоления p_0 – сопротивлений движению поршня со стороны полости противодействия; a – ускорение поршня.

Из уравнения (2.13):

$$a = \frac{g}{G[(p_{дв} - p_c)F_{п} - \Sigma T_{тр}]}. \quad (2.14)$$

Если принять, что $p_{дв} \rightarrow p$, то величина максимального ускорения

$$a = \frac{g}{G[(p - p_c)F_{п} - \Sigma T_{тр}]}. \quad (2.15)$$

Диаметр гидроцилиндра находят по расчетному тяговому усилию, развиваемому штоком поршня, при установившемся движении. При этом рабочее давление p следует определить исходя из неравенства

$$p < (0,7 \dots 0,8)p_{\max},$$

где p_{\max} – максимальное давление, которое может развить гидронасос.

В начальной стадии проектирования параметры гидравлического привода обычно неизвестны, поэтому выражение (2.7) для определения площади поршня запишем в виде:

$$F_{п} p_{п} = F'_{п} p_{п} + 1,2(Q_{п} + T_{дв}),$$

где $F_{п}$ и $F'_{п}$ – площади поршня со стороны рабочей полости и полости подпора; 1,2 – коэффициент, учитывающий потери на трение в гидравлическом цилиндре.

Отсюда для гидроцилиндров с одинаковыми площадями поршня расчетная площадь поршня

$$F_{\text{п}} = 1,2(Q_{\text{п}} + T_{\text{дв}})/(p_{\text{дв}} - p_{\text{п}}). \quad (2.16)$$

Для гидроцилиндров, у которых площадь поршня со стороны площади подпора больше площади поршня, расчетная площадь поршня равна

$$F_{\text{п}} = 1,2[(Q_{\text{п}} + T_{\text{дв}})/(p_{\text{дв}} - p_{\text{п}}) + P_{\text{п}}f]/(p_{\text{дв}} - p_{\text{п}}), \quad (2.17)$$

где $f = \pi d^2/4$ – площадь штока поршня.

Величиной $p_{\text{дв}}$ задаются в пределах $(0,7 \dots 0,8)p$. Для приводов силовых устройств в формулы (2.10), (2.11) вместо $p_{\text{дв}}$ подставляется конечное давление p , равное обычно максимальному давлению P_{max} в гидросистеме.

По площади поршня $F_{\text{п}}$ и штока f находят диаметр поршня:

$$D = 1,12B\sqrt{F_{\text{п}} + f}, \quad (2.18)$$

где B – высота манжеты поршня.

Рассчитанный по этой формуле диаметр поршня округляется в соответствии с нормальным рядом, после чего уточняется площадь поршня:

$$F = \pi/4(D^2 - d^2),$$

где D, d – площадь поршня и штока, принятые по нормальному ряду.

По размерам D и d подбирают уплотнения, а по формулам (2.10) и (2.11) находят силы трения в гидравлическом цилиндре.

Критерием правильности определения параметров цилиндра является следующие неравенства:

$$F > (Q_{\text{п}} + T'_{\text{пор}} + T''_{\text{пор}} + T'_{\text{шт}} + T''_{\text{шт}} + T_{\text{дв}})/(p_{\text{дв}} - p_{\text{п}}) \text{ или} \\ F > (Q_{\text{п}} + T'_{\text{пор}} + T''_{\text{пор}} + T'_{\text{шт}} + T''_{\text{шт}} + T_{\text{дв}} + p_{\text{п}}f)/(p_{\text{дв}} - p_{\text{п}}). \quad (2.19)$$

Наибольшие трудности при проектировании гидроцилиндров вызывает обеспечение заданного времени срабатывания t , которое обычно задается на основании циклограммы.

2.4.7. Электроприводы промышленных роботов

Электропривод современного ПР представляет собой комплекс приводов, каждый из которых управляет определенной степенью подвижности робота.

Таковыми приводами снабжены роботы "Кука" (Япония), РПМ-25 (Россия), НОI 505/06 (Германия) и др.

Особенности электроприводов:

1) широкий диапазон регулирования по скорости и позиционированию, высокие требования к динамике движения и точности сложения;

2) работа в широком диапазоне изменения моментов нагрузки;

3) длительная работа двигателей в заторможенном режиме.

На рис. 2.8 показана функциональная схема электропривода ПР, которая представляет собой аналого-цифровую систему автоматического управления.

Первый контур образован двигателем (М) с преобразователем (ПР) и регулятором тока (РТ). Во второй контур входят, кроме того, датчик скорости (ДС) и регулятор скорости (РС). В третий контур входят дополнительно датчик угла (ДУ) и ЦРП (цифровой регулятор положения).

В качестве регуляторов тока и скорости используются чаще всего аналоговые операционные усилители, с помощью которых легко реализуется требуемый закон управления. Датчик скорости

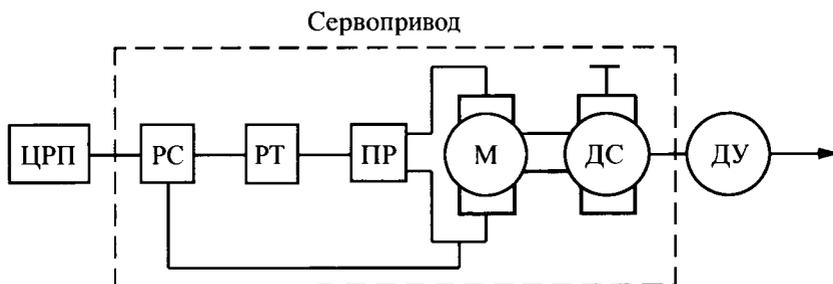


Рис. 2.8. Функциональная схема электропривода робота

может быть как аналоговым, так и цифровым. Независимо от конкретной схемы, электропривод ПР состоит из следующих элементов: исполнительного элемента (двигателя); преобразователя; датчиков обратной связи по току, скорости и углу; регуляторов тока, скорости и угла (положения).

Анализ современных тенденций в производстве электроприводов отечественными и зарубежными фирмами показывает, что большинство из них в настоящее время выпускает сервоприводы, которое конструктивно объединяют двигатель, преобразователь, датчики и регулятора скорости и тока.

2.4.8. Элементы электропривода

Электродвигатели. В настоящее время следящие электроприводы ПР как правило строятся на базе электродвигателей постоянного тока (ПТ), так как при этом получают более простые надежные схемы управления.

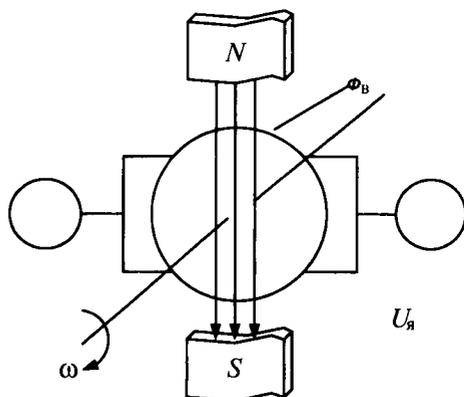
По способу возбуждения электродвигатели ПТ делятся на электродвигатели с электромагнитным возбуждением и с возбуждением от постоянных магнитов.

Двигатели с возбуждением от постоянных магнитов наиболее перспективны вследствие малой инерционности. К преимуществам этих двигателей следует отнести также высокий КПД и независимость тока возбуждения от изменения температуры окружающей среды.

Принцип действия двигателя ПТ с возбуждением от постоянных магнитов пояснен на рис. 2.9. При наличии в цепи якоря напряжения $U_{\text{я}}$ по его обмотке пойдет ток $I_{\text{я}}$, магнитный поток $\Phi_{\text{я}}$ которого, взаимодействуя с потоком возбуждения $\Phi_{\text{в}}$ от постоянных магнитов, вызовет вращение ротора двигателя. Регулирование угловой скорости вращения якоря осуществляется изменением напряжения $U_{\text{я}}$. Поток возбуждения $\Phi_{\text{в}}$ остается постоянным при всех скоростях, что создает благоприятные условия для коммутации и устойчивой работы.

По способу подведения напряжения $U_{\text{я}}$ в обмотку якоря двигателя ПТ делятся на *коллекторные и бесконтактные*.

Рис. 2.9. Принцип действия двигателя постоянного тока



В коллекторных машинах ток к обмотке якоря подводится с помощью щеток (недостаток – высокий износ щеток). Магнитные системы двигателей ПТ с возбуждением от постоянных магнитов отличаются большим разнообразием (радиальные, скобообразные, кольцевые магниты).

Известны три вида конструктивного исполнения якорей двигателей постоянного тока: обычный, гладкий и малоинерционный. Гладкий якорь имеет меньшее индукционное сопротивление, чем обычный, что уменьшает искрение под щетками.

Малоинерционный якорь выполняется полым или дисковым. Уменьшенный момент энергии таких якорей двигателей обеспечивает их высокое быстродействие.

Двигатели постоянного тока (ПТ) с вентильным (тиристорным) управлением. Применение вентильных преобразователей (тиристоров) позволило создать бесконтактные двигатели ПТ, в которых щеточно-коллекторный узел заменен надежной полупроводниковой схемой. Системы электродвигателей ПТ являются реверсивными.

Системы электродвигателей ПР являются реверсивными. Чаще рассматриваются двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, т.е. с независимым возбуждением. Для обеспечения реверса (изменения направления вращения вала двигателя) необходимо изменить направление тока в цепи якоря двигателя. Этого можно достигнуть двумя способами:

1) использованием одного комплекта тиристоров с переключателем K (ревестора), так как тиристор пропускает ток лишь в одном направлении (рис. 2.10);

2) использованием двух комплектов тиристоров, каждый из которых попускает ток в определенном направлении (рис. 2.11).

Шаговые двигатели (ШД). Все большее распространение в ПР получает дискретный привод с шаговыми двигателями, который через механическую передачу соединен с исполнительные механизмом. Принцип действия ШД основан на дискретном изменении магнитного поля в зазоре машины.

При периодических переключениях обмоток статора ШД магнитодействующая сила (МДС) статора поворачивается на определенный шаг, вызывая поворот ротора на тот же шаг. Применение ШД дает возможность преобразовать управляющие импульсные сигналы в угол поворота вала без датчика обратной связи.

Существует много разновидностей ШД, отличающихся по способу управления, конструкции и принципу действия. Требованиям

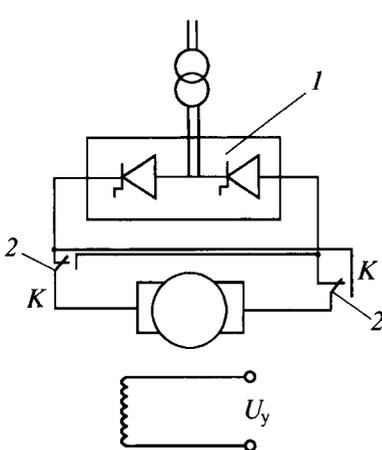


Рис. 2.10. Электродвигатель с использованием одного комплекта тиристоров I и переключателя (ревестора) 2

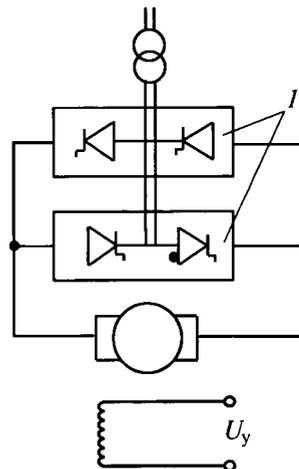


Рис. 2.11. Электродвигатель с использованием двух комплектов тиристоров I

устойчивости движения, быстродействия и надежности наилучшим образом удовлетворяют синхронные двигатели с активным или реактивным статором.

На рис. 2.12 пояснен принцип действия ШД с многофазной обмоткой на статоре и ротором в виде постоянного магнита.

Если подавать однополярные импульсы напряжения последовательно в фазы 1,2... m , то ротор будет поворачиваться на угол, при котором его ось совпадает с осями фаз 1,2... m . При этом ротор имеет m устойчивых состояний, определяемых направлением вектора магнитодвижущей силы F ; шаг при этом равен $2\pi/m$. Если подавать импульсы напряжения на две соседние фазы, то направление вектора магнитодвижущей силы $\vec{F}_{рез}$ совпадает со средней линией между этими фазами. Если подавать импульсы напряжения на три фазы, то ротор займет положение, совпадающее с осью средней фазы. Следовательно, если включать поочередно четное и нечетное число фаз, то ротор двигателя будет иметь $2m$ устойчивых положений, а шаг будет равен π/m .

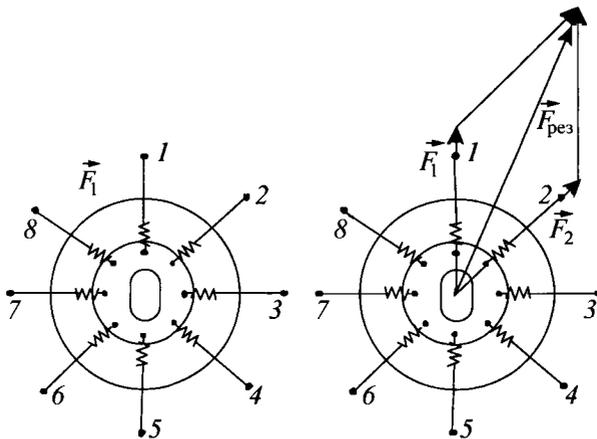


Рис. 2.12. Принцип действия шагового двигателя с многофазной обмоткой

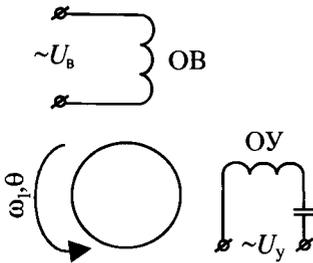


Рис. 2.13. Принцип действия двухфазного асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели (АД) имеют ограниченное применение в ПР. Это объясняется их сложностью и высокой стоимостью электронных преобразователей, применяемых для регулирования частоты вращения. Тем не менее в ПР грузоподъемностью свыше 40 кг их использование вполне оправдано.

В зависимости от вида напряжения питания и отметки статора различают двух- и трехфазные АД.

Принцип действия двухфазного асинхронного двигателя пояснен на рис. 2.13.

На статоре расположены две обмотки: возбуждения (ОВ) и управления (СУ), которые размещены в пространстве одна относительно другой на 90° . Обмотка возбуждения питается от сети переменного тока, а обмотка управления – переменным напряжением U_y , причем оно сдвинуто по фазе относительно U_b на $\pm 90^\circ$, т.к. в цепь ОУ включена емкость C . Амплитуда напряжения управления меняется в зависимости от изменения управляющей величины, а амплитуда напряжения возбуждения $U_b = \text{const}$. Ротор АД выполняется короткозамкнутым (обычно в виде "беличьей клетки"). При взаимодействии полей от индукционных токов, наводимых в роторе, с эллиптическим результатом полей статора в двигателе возникает вращающий момент, приводящий в движение ротор.

2.4.9. Методика выбора электрических двигателей

Методику выбора электрических двигателей можно разделить на следующие этапы [25]:

- 1) выбор типа двигателя;

2) предварительная оценка по заданным показателям качества системы управления электропривода: значениям угла поворота θ_{\max} , скорости $\dot{\theta}_{\max}$ и ускорения $\ddot{\theta}_{\max}$ вала исполнительного органа и их среднеквадратичным значениям (δ_{θ} , $\delta_{\dot{\theta}}$ и $\delta_{\ddot{\theta}}$), а также угловой скорости работы без нагрузки $\theta_{\text{вых } \theta}$;

3) предварительная оценка требуемых максимального, пускового и среднеквадратичного моментов (M_{\max} , $M_{\text{п}}$ и δ_m);

4) предварительная оценка требуемых механической $M = F(\ddot{\theta})$ и регулировочной $\dot{\theta} = F(U_y)$ характеристик;

5) учет требований к передаточной функции двигателя.

При выборе типа двигателя (коллекторного или бесколлекторного постоянного тока, синхронного или асинхронного переменного тока, шагового, в закрытом или открытом исполнении) необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1) функциональное назначение (исполнительный в системе автоматического управления, силовой приводной, приводной в программно-временном устройстве);

2) тип, возможности и ограничения источника питания двигателя мощности;

3) тип системы управления и требования к ее статистическим и динамическим характеристикам (в дискретных системах, например, целесообразно использовать шаговые двигатели, а в системах, допускающих автоколебательный режим, – двигатели, приспособленные к релейному управлению);

4) конструкцию, значение, характер нагрузок и движений органа управления, с которым сочленен двигатель;

5) условия (степень агрессивности среды, ее давление, температуру, влажность, вибрации, инерционные нагрузки), время работы двигателя и требуемый ресурс безотказной работа в заданных условиях;

6) ориентировочные значения предполагаемой выходной мощности и требуемый КПД, мощность, необходимую для управления;

7) условия эксплуатации (возможность контроля, выполнения регламентных работ и настроек, время готовности);

8) стоимость и эксплуатационные расходы.

Оценка угла поворота, скорости и ускорения вала исполнительного двигателя необходима прежде всего для выбора мощности двигателя, т.е. при характере нагрузок мощность определяется именно этими параметрами.

Оценка моментов нагрузки на исполнительной обмотке производится по формуле:

$$M_{н\max} = J\ddot{\theta}_{\max} + K_{\dot{\theta}}\dot{\theta}_{\max} + K_{\theta}\theta_{\max} + M_T + M_{ст}, \quad (2.20)$$

где $K_{\dot{\theta}}$ – коэффициент пропорциональности, связывающий момент и частоту вращения; K_{θ} – коэффициент пропорциональности, связывающий момент и угол; M_T – момент трения; $M_{ст}$ – статистический момент сопротивления.

При этом требуемый пусковой момент должен удовлетворять условию:

$$M_{п} \geq M_{н\max}/i\eta, \quad (2.21)$$

где i – передаточное отношение редуктора; η – КПД редуктора от исполнительной оси до вала двигателя.

Первое слагаемое формулы (2.20) представляет собой динамический момент, обусловленный приведением к исполнительной оси моментов инерции всех подвижных частей.

Без учета редуктора

$$J = J_{дв}i^2 + J_{н}, \quad (2.22)$$

где $J_{дв}$ – момент инерции двигателя; $J_{н}$ – момент инерции нагрузки всех подвижных частей манипулятора.

Слагаемое $K_{\dot{\theta}}\dot{\theta}_{\max}$ – момент, присущий исполнительным органам, движущимся в вязкой жидкости или газовой среде. Момент $K_{\theta}\theta_{\max}$ создается действием пружин и некоторыми кинематическими связями.

Момент трения M_T имеет постоянную величину и направлен навстречу движению:

$$M_T = -|M_T| \operatorname{sign} \dot{\theta}. \quad (2.23)$$

Статический момент сопротивления $M_{ст}$ не зависит от характеристик движения и может создаваться, например, грузом манипулятора.

Расчет по формуле (2.20) $M_{н \max}$ даст завышенный результат, так как вероятность совпадения всех перечисленных моментов по модулю и знаку мала.

Номинальный момент в первом приближении оценивается как среднеквадратичный:

$$\delta_n = \sqrt{(\mathcal{J}\ddot{\theta}_{\max})^2 + (K_\theta \dot{\theta}_{\max})^2 + (K_\theta \theta_{\max})^2 + M_T^2 + M_{ст}^2}. \quad (2.24)$$

Для роботов составляющие $K_\theta \dot{\theta}_{\max}$ и $K_\theta \theta_{\max}$ как правило отсутствуют.

Мощность двигателя (в Вт) на входной оси можно определить по формуле

$$P = (1,2 \dots 1,5)(M_{ст} + M_T)\mu/9,56, \quad (2.25)$$

где 1,2...1,5 – коэффициент, учитывающий превышение действующего на двигатель реального момента над статическим; n – максимальная частота вращения исполнительного вала, мин^{-1} ; $M_{ст}$ и M_T – в Н·м.

При выборе вида механической и регулировочной характеристики необходимо учитывать, что механическая характеристика должна быть такой, чтобы во всех режимах работы момент $M_{дв.}$, развиваемый двигателем, был больше статического момента нагрузки. Механическая характеристика должна обеспечивать выполнение требований, предъявляемых к качеству привода, в частности, быть жесткой и линейной.

Жесткость (жесткая механическая характеристика – характеристика, у которой при значительном изменении момента частота вращения почти не изменяется) должна соответствовать требуемой погрешность от момента сопротивления на валу и параметрам передаточной функции. Мощность механической характеристики обеспечивает постоянство передаточной функции двигателя во всем диапазоне режимов работы двигателя.

Основным требованием к регулировочным характеристикам является их линейность во всем диапазоне изменения управляю-

шего сигнала, что обеспечивает постоянство коэффициента передачи по управляющему сигналу.

Кроме того, необходимо, чтобы регулировочная характеристика обеспечивала заданную кратность регулирования частоты вращения вала исполнительного двигателя и устойчивую работу при минимальных скоростях управления.

Для улучшения механических и регулировочных характеристик в электроприводах применяют обратные связи.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение промышленного робота.
2. Какие основные требования предъявляются в ГАП к промышленным роботам?
3. Приведите основные технические характеристики ПР.
4. Какие виды конструктивного исполнения применяются к ПР?
5. Какие системы координат используются при работе с ПР?
6. Какие типы приводов используются в промышленных роботах? Приведите их характеристики.
7. Какие типы исполнений роботов Вы знаете?
8. Какие типы точности позиционирования Вы знаете?
9. Приведите степени универсальности и подвижности роботов.
10. Что такое манипулятор и какие основные характеристики он имеет?
11. Что такое типоразмерные ряды ПР? Приведите их основные группы.

Глава 3

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНО-НАКОПИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГИБКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

3.1. ТИПЫ ТРАНСПОРТНО-НАКОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время рассматривают автоматические склады и автоматические транспортные системы как единое целое – в виде автоматической (или автоматизированной) *транспортно-накопительной системы* (АТНС) [3, 5, 7, 10]. Однако ввиду сложности АТНС, большого количества элементов и связей между ними автоматические склады целесообразно рассмотреть отдельно.

Разновидности транспортно-накопительных систем, обслуживающие ГАП, представлены на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Разновидности транспортно-накопительных систем, обслуживающие ГАП

Транспортные связи охватывают грузопотоки межцеховые, межучастковые, межоперационные и все элементы перемещений, включая ориентацию, установку заготовки, съем изделия и кассетирование. Автоматические склады, кладовые, операционные накопители выполняют функции буферных устройств, сглаживающих нарушение ритма работы технологического оборудования. Автоматизированные и автоматические транспортные средства обслуживают горизонтальные, вертикальные и смешанные грузопотоки. Характер транспортных связей оказывает решающее воздействие на совершенствование технологической компоновки оборудования, сокращение производственных площадей и снижение капитальных затрат на строительные-монтажные работы.

Обрабатывающая ячейка ГАП как элемент производства, например механической обработки или сборки, имеет грузопотоки, которые распределяются по схеме, показанной на рис. 3.2.

Местные накопители или склады содержат заготовки, тару, инструмент, оснастку для работы обрабатывающей ячейки в оптимальном режиме. Этот режим задается многоуровневой системой управления ГАП, которая определяет работу основного технологического оборудования, накопителей и транспорта. Готовые изделия, инструмент, оснастка, отходы по командам системы управления транспортируются в накопители или другие обрабатывающие ячейки ГАП. В зависимости от требований технологического процесса



Рис. 3.2. Грузопотоки обрабатывающей ячейки

могут быть предусмотрены возвратные грузопотоки многооборотной тары, оснастки, отдельных видов инструмента и приспособлений.

Грузопотоки, их связи и мощность определяются с целью выбора технических средств. Грузы классифицируются по транспортно-технологическим характеристикам: массе, размеру, форме, способу загрузки, виду и свойствам. В общем случае грузы делят на четыре основных класса:

- 1) сыпучие;
- 2) штучные (в том числе длинно- и короткомерные, штучно-массовые);
- 3) газообразные;
- 4) наливные по группам массы транспортируемых изделий.

Они подразделяются на изделия:

- миниатюрные – масса до 0,01 кг;
- легкие – 0,01...0,5 кг;
- средние – 0,5...16 кг;
- переходные массы – 16...125 кг;
- тяжелые – более 125 кг.

По способу загрузки: в таре, без тары, навалом, ориентированные, кассетированные, в пакетах, на спутниках.

По форме: на тела вращения, корпусные, дискообразные (плоские, пластинчатые), спицеобразные (длиномерные) и так далее.

По виду материала: на металлические, неметаллические.

По свойствам материала: на твердые, хрупкие, пластичные, магнитные.

Для выработки организационно-технических требований к транспортным связям можно воспользоваться классификацией, представленной на рис. 3.3.

Транспортные потоки делятся на непрерывные и дискретные, каждый из которых может быть ответвленным, прямоточным, возвратным или обладающим и теми, и другими признаками. В реальных условиях возможно комбинированное использование непрерывного и дискретного перемещений при условии разрыва транспортных средств буферными накопителями (при создании страховых и технологических заделов, для обеспечения сроков вылеживания, контрольных операций) функции накопителей могут



Рис. 3.3. Классификация транспортных систем по организационно-техническим требованиям для потоков:
 1 – ветвящихся; 2 – неветвящихся; 3 – возвратных; 4 – прямоточных

выполнять собственно транспортные средства, а также вспомогательные устройства, тара.

На рис. 3.4 показан пример применения неветвящейся транспортной системы с возвратным потоком прерывного перемещения. В зависимости от регламента работы оборудования транспортная система может осуществлять последовательное или выборочное обслуживание перегрузочных устройств 5.

На рис. 3.5 показан пример замкнутой трассы транспортной системы, которая обслуживает четыре грузопотока: 1) доставляет

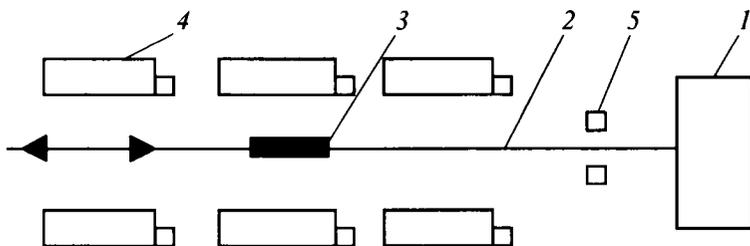


Рис. 3.4. Пример неветвящейся транспортной системы с возвратным потоком прерывного перемещения:
 1 – наполнитель; 2 – трасса перемещения тележки; 3 – тележка;
 4 – технологическое оборудование; 5 – перегрузочные устройства

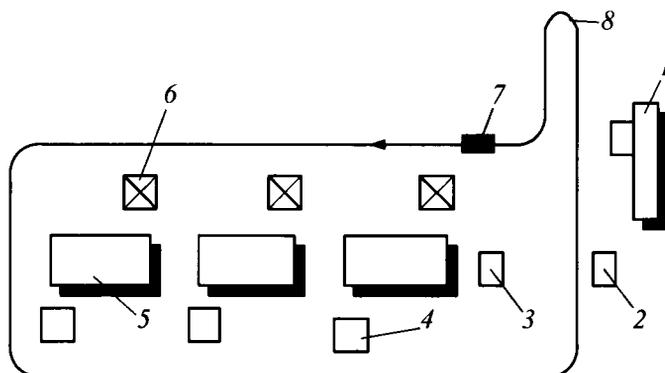


Рис. 3.5. Пример замкнутой трассы транспортной системы:

1 – накопитель (склад); 2 – перегрузочный стол для изделий; 3 – перегрузочный стол для отходов; 4 – накопитель отходов; 5 – технологическое оборудование; 6 – локальный накопитель заготовок изделий; 7 – автоматическая тележка; 8 – трасса транспортной системы

заготовки; 2) тару для отходов; 3) убирает готовые изделия; 4) убирает отходы. Из склада 1 автоматической тележкой 7 заготовки передаются на локальный наполнитель 6 в последовательности, определяемой технологическим процессом. После обработки на оборудовании 5 ячейки ГАП изделия транспортируются на перегрузочный стол для контроля и передачи на другие технологические операции. Отходы, собираемые в таре накопителей, автоматической тележкой передаются на перегрузочный стол 3, предназначенный для сбора отходов.

На рис. 3.6 показан пример разветвленной транспортной системы. Автоматическая раздача грузов с разветвлением трассы является наиболее целесообразной при многорядном расположении оборудования и выполнении одним транспортным средством нескольких функций.

С автоматического склада 4 (см. рис. 3.6) заготовки в маркированной таре подаются автоматическим штабелером на перегрузочный стол 3, который служит приемной станцией тележки 5, снабженной устройством для загрузки и разгрузки. Это устройство

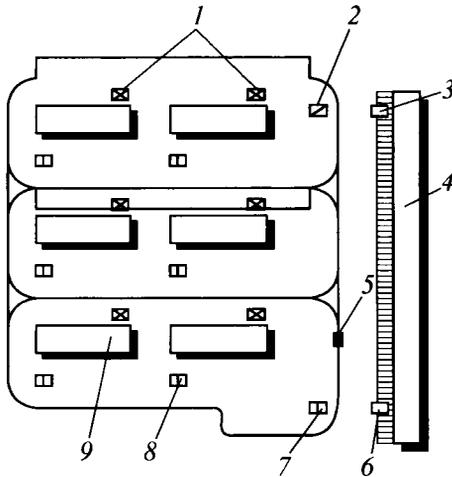


Рис. 3.6. Пример разветвленной транспортной системы:
 1 – накопители заготовок;
 2 – станция контроля размеров;
 3 – перегрузочный стол;
 4 – автоматический склад;
 5 – автоматические тележки;
 6 – столы с поддонами для стружки; 7 – стол; 8 – перегрузочный стол; 9 – технологическое оборудование

передает заготовки на накопители 1 и забирает готовые изделия с них в любой последовательности по мере необходимости и в соответствии с приоритетом в обслуживании. Такая разветвленная схема обеспечивает гибкость в управлении и автоматическую передачу заготовок с оборудования 9 в пределах ГАП со станцией 2 с контролем размеров заготовок или без него. Один или два раза в смену та же тележка 5 развозит пустые поддоны для стружки по столам 8 и собирает накопленные поддоны на стол 7. Изделия в таре передаются на перегрузочный стол 6, откуда автоматическим штабелером загружаются в свободные ячейки склада. Склад и локальные накопители обеспечивают оптимальный ритм работы всей системы, которую могут обслужить несколько тележек.

Автоматическая транспортно-накопительная система (АТНС) с замкнутой (см. рис. 3.5) и разветвленной (см. рис. 3.6) трассами могут быть построены на основе подвесных дорог.

При организации схемы грузопотоков с учетом компоновки технологического и энергетического оборудования и накопительных систем решаются следующие оптимизационные задачи: сокращение общей длины транспортных связей и каждого ответвления, уменьшение числа пересечений и разветвлений, исключение влияния на имеющиеся транспортные средства и связи, обеспечение

требований техники безопасности и пожарной безопасности, снижение капитальных и эксплуатационных затрат, ремонтпригодность.

На схеме, показанной на рис. 3.7, транспортные связи значительно сокращены за счет рациональной компоновки накопителей в зоне расположения оборудования 6 ГАП. За счет отдельного применения складов заготовок 1 и изделий 8 упрощаются грузопотоки обрабатываемых 3 и обработанных 5 изделий. Взаимное расположение складов предопределяет прямооток основной продукции. Благодаря размещению инструментального накопителя (склад 2) и контроля 4 вблизи технологического оборудования сокращается объем транспортировок инструмента и оснастки 7, а при отработанной схеме скрещивающихся потоков расширяется выбор технических транспортных средств. Такая компоновка АТНС не исключает возможности обслуживания дополнительных грузопотоков 9 от других ячеек ГАП. Предполагается, что отходы

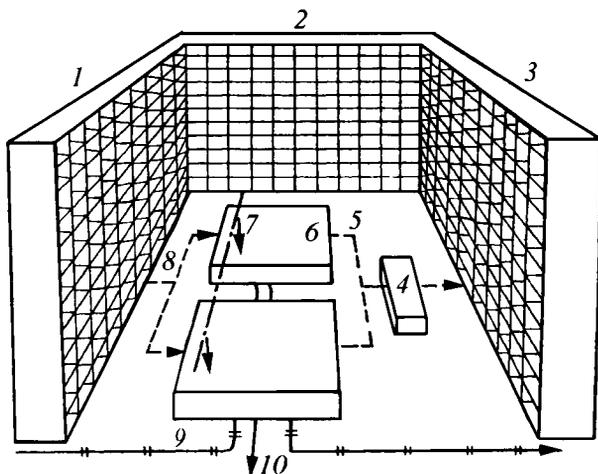


Рис. 3.7. Компоновка ГАП с тремя складами:

- 1 – склад заготовок; 2 – инструментальный накопитель (склад); 3 – обрабатываемые изделия; 4 – зона контроля; 5 – обработанные изделия;
- 6 – зона расположения оборудования; 7 – зона оснастки; 8 – склад изделий; 9 – дополнительный грузопоток от других ячеек ГАП;
- 10 – централизованная система удаления отходов

передаются в централизованную систему удаления отходов 10, которая может быть независимой от транспортных средств, обслуживающих ГАП, в отличие от схем, представленных на рис. 3.5 и 3.6.

Типовая схема компоновок АТСС приведена на рис. 3.8. При линейном расположении оборудования на базе кранов-штабелеров и напольного оборудования АТСС работает следующим образом (рис. 3.8, *а*): заготовки, готовые детали и технологическая оснастка укладываются в тару вне АТСС. Затем тара проходит контрольное устройство и поступает на загрузочный цепной конвейер к крану-штабелеру, который устанавливает ее в свободную ячейку стеллажа. Система управления отыскивает нужную ячейку стеллажа с тарой, кран-штабелер забирает эту тару и устанавливает на приемное устройство рабочего места у станка. Далее кран-штабелер забирает тару с обработанными деталями с приемного устройства рабочего места и устанавливает ее либо в свободную ячейку стеллажа, либо отправляет по другому адресу. На технологическое оборудование детали и тара подаются роботами, манипуляторами или вручную, если оборудование для подачи деталей из тары не входит в состав АТСС.

Работа АТСС многорядного типа (рис. 3.8, *б*) отличается тем, что грузовые единицы распределяются по приемным устройствам электророботами. В АТСС кольцевого типа (рис. 3.8, *в*) межоперационное накопление и транспортирование грузовых единиц осуществляются на кольцевом конвейере, по периферии которого расположены приемные устройства станков. В АТСС многорядного типа (рис. 3.8, *г*) грузовые единицы распределяются в приемные устройства рабочих мест станков с помощью подвесного транспорта (подвесной грузонесущий или толкающий конвейеры, монорельсовая дорога). Такие системы АТСС характеризуются высокой интенсивностью грузопотоков и небольшим числом номенклатуры заготовок. В АТСС кольцевого типа (рис. 3.8, *д*) межоперационное накопление грузовых единиц может осуществляться и в кольцевых подвесных конвейерных линиях, которые, как правило, перемещают штучные грузы.

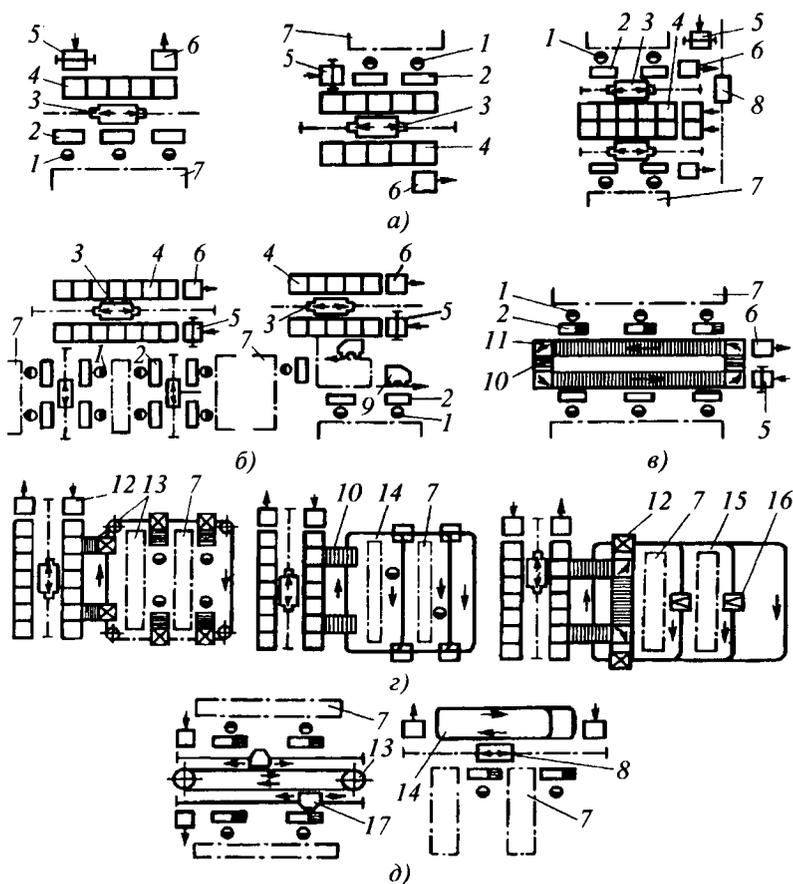


Рис. 3.8. Типовые схемы компоновок транспортно-складских систем ГПС:
а – линейного типа на базе кранов-штабелеров и напольного оборудования;
б – многорядного типа на базе кранов-штабелеров и напольного оборудования;
в – кольцевого типа на базе конвейерного оборудования; *г* – многорядного типа на базе подвешеного транспорта; *д* – кольцевого типа на базе подвешеного транспорта; *1* – робот (оператор); *2* – приемное устройство; *3* – кран-штабелер; *4* – стеллаж; *5* – контрольное устройство; *6* – участок разгрузки; *7* – технологическое оборудование; *8* – передаточная тележка; *9* – электробокар; *10* – роликовый конвейер; *11* – поворотный стол; *12* – конвейерный напольный манипулятор; *13* – подвесной грузонесущий конвейер; *14* – однорельсовая дорога; *15* – подвесной толкающий конвейер; *16* – опускающая секция; *17* – конвейерный подвесной манипулятор

3.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНО-НАКОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Технические средства АТНС делятся на две группы: основное оборудование и вспомогательное. Их классификация представлена на рис. 3.9.

Классификация конвейеров показана на рис. 3.10.



Рис. 3.9. Классификация технических средств АТНС



Рис. 3.10. Классификация конвейеров

Кроме функций передачи изделий и заготовок, в ГАП в качестве основного магистрального транспорта конвейеры могут выполнять дополнительные операции. В частности, ленточными и роликowymi конвейерами можно снабжать автоматические тележки, подъемно-поворотные столы, приемные устройства у складов для обеспечения автоматической загрузки и разгрузки. Отдельные виды конвейеров могут выполнять функции накопителей (например, элеваторы подвесные с автоматическим адресованием). Они также используются для транспортировки отходов и стружки (скребковые, игольчатые, винтовые конвейеры). Кроме функций транспортировки стружки, конвейеры выполняют функции сортировки, дробления металлической стружки.

Винтовые конвейеры используются также для транспортировки сыпучих, мелкокусковых, зернистых, гранулированных и пылевидных грузов. Помимо конвейеров для транспортирования грузов, в ГАП широкое применение нашли монорельсовые подвесные дороги. Положительными их качествами являются высокая экономичность, сокращение производственных площадей, возможность автоматической адресации и использования в этих целях программного управления. Схема размещения дороги может быть тупиковой с маятниковым движением тележки, кольцевой и смешанной, где от кольцевой трассы отходят тупиковые ответвления. По сложности схемы дороги делятся на элементарные (без ответвлений), простые (три–пять стрелочных переводов) и сложные с большим количеством стрелочных переводов, поворотных кругов и межэтажных подъемников. В транспортную систему дороги входят: подвижной состав; грузоноситель, включающий грузоподъемный механизм и грузозахватные устройства; путевые устройства; эстакада; средства электроснабжения и автоматизации управления. Все большую роль в создании автоматических АТНС играют транспортные роботы. Они зарекомендовали себя как универсальные гибкие средства практической реализации межучастковых и межоперационных связей, обладающие целым рядом преимуществ по сравнению с другими средствами: малогабаритностью подвижного состава, большим диапазоном регулирования производительности, автоматическим перемещением, полным освобождением

дением проездов после прохождения транспортного робота для других видов транспорта, автономностью.

На рис. 3.11 показана классификация транспортных роботов с разделением всех систем на два подкласса: напольные и подвесные. Напольные роботы выпускаются как рельсовые, так и безрельсовые. Подвесные роботы (транспортные) бывают монорельсовыми, консольно-крановыми и порталными. Для организации АТНС ГАП наибольшее применение в мировой практике нашли безрельсовые автоматические тележки, которые могут быть грузонесущими и тянущими (тягачи, буксиры с прицепными платформами, тележками).

Трассу следования безрельсовых автоматических тележек выбирают исходя из условий производства. В помещениях, где устанавливают АТНС, для возможности движения тележки должны быть особо чистые и ровные полы. Одни тележки способны обслуживать оборудование только в пределах заранее проложенной трассы, а другие могут съезжать с пути, чтобы объехать препятствие или осуществить стыковку с погрузочно-разгрузочной станцией. Классификация систем маршрутослежения транспортных роботов представлена на рис. 3.12.

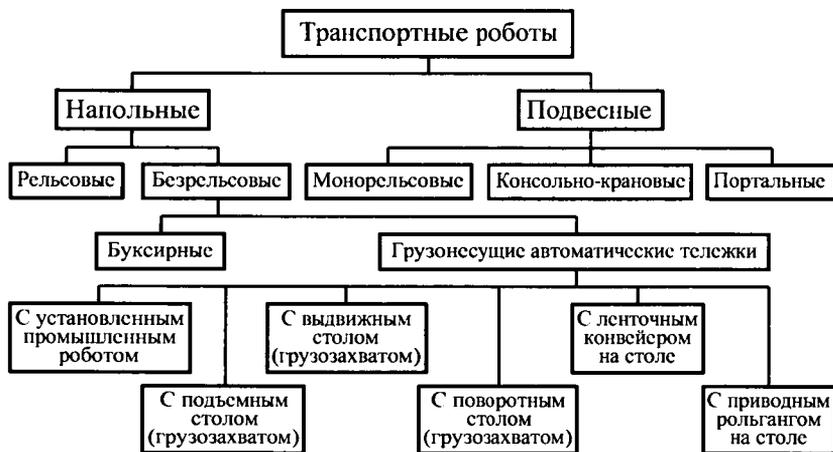


Рис. 3.11. Классификация транспортных роботов

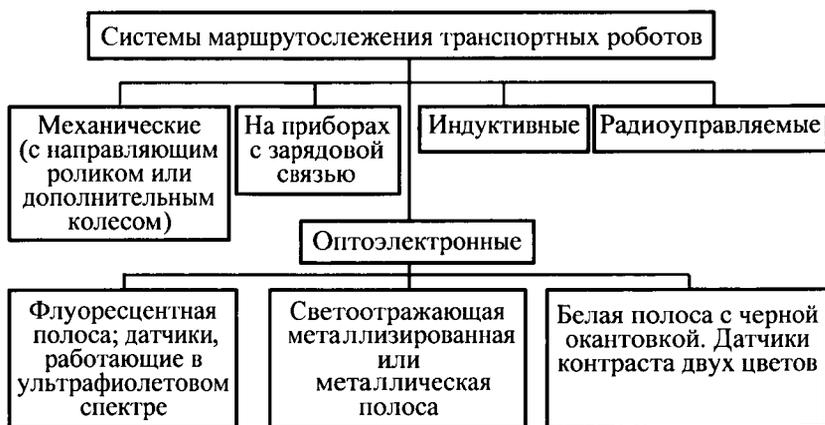


Рис. 3.12. Классификация систем маршрутослежения транспортных роботов

Наибольшее распространение получили транспортные роботы с индивидуальной системой маршрутослежения и перемещающиеся по светоотражательной полосе. В качестве примера можно привести отечественный транспортный робот типа "Электроника". В корпусе тележки робота смонтированы электроприводы движения и поворота с питанием от аккумулятора, механизм подъема грузовой платформы, устройство управления движением и подъема на основе микроЭВМ, устройство маршрутослежения оптоэлектронного типа (излучатель – светоотражающая полоса), датчики контроля за состоянием ряда узлов. Информацию о маршруте движения тележка получает на станциях останова, размещенных у склада и оборудования, посредством оптоэлектронной системы обмена информацией без электрического контроля. Выполнив основные функции, тележка автоматически останавливается на станции подзаряда аккумуляторов.

Для межоперационного транспортирования изделий применяют транспортные роботы. Они состоят из электротележки с приводом от специального шинпровода, перемещающейся по монорельсу, и установленного на ней промышленного робота. Такие транспортные роботы могут перемещать изделия и тару с изде-

лиями. Они отличаются от монорельсовых подвесных дорог с тележками автоматического адресования тем, что имеют устройство, позволяющее манипулировать изделиями и выполнять простейшие элементы технологических операций: ориентацию, укладку, перенос и перестановку по программируемой траектории, загрузку и разгрузку подвесок грузонесущих конвейеров, а в некоторых случаях даже загрузку технологического оборудования. Монорельсовые транспортные роботы хорошо вписываются в промышленные планировки, транспортируют груз над проходами, проездами, оборудованием, что исключает помехи в работе напольного транспорта. Подъемно-транспортные манипуляторы консольно-кранового типа имеют ограниченную зону действия. Это обусловлено тем, что конструкция монорельса аналогична консольной кран-балке. Такие манипуляторы применяют на погрузочно-разгрузочных и транспортных (на расстоянии до 5 м) операциях в ТНС в качестве вспомогательного средства.

Портальные подъемно-транспортные роботы способны выполнять более широкий диапазон работ, включая обслуживание станков ГАП для межоперационных передач заготовок, оснастки, инструмента.

3.3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНО-НАКОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Системы управления АТНС имеют иерархическую структуру уровней обработки информации.

Уровень 1 – локальные устройства автоматики и управления транспортным оборудованием – обеспечивает решение следующих задач: управление приводами транспортных средств, точное позиционирование транспорта у рабочего места, загрузка и разгрузка накопителей и передача сигнала для контроля и диагностики.

Уровень 2 – управление грузопотоками автоматизированных производств и складскими операциями – обеспечивает: задание маршрутов, движение транспорта, контроль и диагностику неисправностей, учет движения груза. Этот уровень реализует система управления ГАП.

В комплекс технологических средств системы управления 1-го уровня входят: датчики для определения наличия или отсутствия груза, датчики положения транспорта, датчики уровней для накопительных систем, датчики сил, датчики безопасности (индуктивные, тензометрические и фотоэлектрические), измерительные приборы, микроЭВМ. Используемые на этом уровне микроЭВМ позволяют реализовать логические функции управления (адресация, блокировка, переключение регистров работы приводов, управление приводами) программным путем. МикроЭВМ обеспечивает связь с верхним уровнем управления и придает системе гибкость и модульность. Связь микроЭВМ с датчиками и исполнительными механизмами осуществляется с помощью устройств ввода-вывода.

Система автоматического контроля и диагностики работы АТНС предназначена для обеспечения бесперебойного функционирования оборудования грузопереработки и его эксплуатационной надежности путем оперативного обнаружения критических и аварийных ситуаций (выход оборудования из строя, разрядка системы управления и отдельных ее элементов).

Система контроля и диагностики выполняет сбор информации о состоянии наиболее ответственных узлов АТНС и элементов системы управления, обрабатывает эту информацию по заданному алгоритму, принимает решения о возможности дальнейшего функционирования составляющих элементов АТНС и выводит информацию о неисправностях на пульт управления и индикации. Система функционирует в режимах диагностирования начального состояния оборудования АТНС и систем управления, тестовой диагностики, диагностирования текущего состояния оборудования АТНС.

В первом режиме определяется готовность всего комплекса оборудования к началу работы. Сюда входит контроль цепей электропитания и управления, исходного состояния отдельных узлов АТНС, правильности исходных сигналов от датчиков положения и адресации. Диагностирование в первом режиме проводится в начале каждого рабочего дня перед пуском транспортно-накопительного комплекса ГАП.

Задачами тестовой диагностики (второй режим) являются проверка работоспособности основных составляющих АТНС при воздействии тестовых программ, а также профилактическое выявление неисправных узлов системы. Программа включает контроль за прохождением технологических команд на элементы АТНС с изменением уровня ответных сигналов и проверкой последовательности и времени их получения. В результате отработки тестовой программы на пульте оператора высвечиваются номера узлов подсистемы, режимы которых не соответствуют задаваемым значениям по критериям работоспособности и прогнозирования. Проверка проводится перед началом работы комплекса после диагностики его состояния.

Диагностика текущего состояния оборудования АТНС заключается в контроле правильности выполнения управляющих программ в наиболее информативных узловых точках. В память диагностического устройства вводится программа, содержащая информацию о заданных состояниях оборудования системы и элементах системы управления, соответствующих каждому шагу управления. В процессе перехода к следующему шагу происходит сравнение текущих и задаваемых параметров с одновременным измерением времени отработки данного шага. Если сигнал перехода к следующему шагу поступил вовремя, то анализируется состояние элементов системы и принимается решение о соответствии текущего набора параметров.

К проектно-конструкторским работам по созданию оборудования АТНС последней группы сложности следует отнести подготовку информационного, алгоритмического и программного обеспечения, которое определяется комплексом технических средств СУ ГАП.

Для управления движением все механизмы, выполняющие операции грузопереработки, снабжены микропроцессорами. Адресование и распределение грузопотоков на уровне участка производится с помощью микроЭВМ, а учетные, диагностические и контрольные операции на уровне цеха выполняются мини-ЭВМ. Подобные иерархические структуры управления АТНС являются частью СУ ГАП и определяют возможности (гибкость) всего производства.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют транспортно-накопительные системы деталей в автоматизированных комплексах оборудования?
2. Какие основные виды транспортно-накопительных систем Вы знаете? Опишите их.
3. Что такое транспортные связи? Приведите примеры и назначение.
4. Приведите классификацию транспортных систем.
5. Какие технические средства АТНС Вы знаете? Кратко опишите их.
6. Приведите основные типы конвейеров.
7. Какие типы транспортных роботов используются в АТНС?
8. Приведите классификацию систем маршрутослежения транспортных роботов и примеры их применения.
9. Какие уровни системы управления и их назначение в АТНС Вы знаете?

Глава 4

СКЛАДЫ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СКЛАДОВ

Склады гибкого автоматизированного производства представляют собой одну из подсистем ГАП и обеспечивают его эффективное функционирование в соответствии со своей целью и назначением в составе ГАП [2, 3, 5, 7, 16].

Складирование грузов необходимо в связи с имеющимися неравномерностями циклов производства, транспортировок и потребления материальных ценностей. Склады различных типов создают в начале и конце транспортных грузопотоков или производственных процессов для временного накопления грузов и своевременного снабжения производства материалами в нужных количествах. Временное накопление грузов обусловлено характером производства и транспорта. Оно позволяет преодолеть временные, пространственные, количественные и качественные несоответствия между наличием и потребностью в материалах в процессе производства и потребления.

Склады на промышленных предприятиях играют важную роль в общем технологическом процессе производства, а также задают ритм производства. Можно утверждать, что именно склады являются "организаторами" производства, так как любой процесс производства (на отдельном участке, в цехе или в целом на предприятии) начинается и заканчивается на складах. Большую роль складов можно объяснить тем, что они служат не только для временного накопления грузов. На них выполняют, кроме операций складирования грузов, еще и внутрискладские разгрузочные, транспортные, погрузочные, сортировочные, комплектовочные и про-

межуточные перегрузочные операции, а также некоторые технологические операции, которыми начинаются и заканчиваются производственные процессы (подборка технологических комплектов, предмонтажная подготовка, ориентация и фиксирование заготовок на кассетах и спутниках, технический контроль и т.д.). Рассматривая склады разного типа, можно убедиться, что на складах происходит преобразование грузопотока (по размеру к составу принимаемых и выдаваемых партий грузов, по физическим характеристикам грузов, по времени отправки транспортных партий).

Цель создания и функционирования любого склада состоит в том, чтобы принимать с транспорта (например, заводского) грузопоток с одними параметрами, перерабатывать и выдавать его на другой транспорт (например, внутрисистемный транспорт ГАП) с другими параметрами и выполнять это преобразование с минимальными затратами. Таким образом, транспортно-складские комплексы можно определить как технические объекты, в которых выполняют операции складирования и перемещения грузов в целях преобразования параметров грузопотоков (геометрических, физических, временных).

По роду грузов склады можно разделить на тарно-штучные, склады контейнеров, длинномерных и крупногабаритных грузов.

Склады промышленных предприятий также классифицируются на склады прибытия (материалы, комплектующие изделия), промежуточные производственные склады (заготовки, полуфабрикаты, инструмент, технологическая оснастка) и склады отправления (готовая продукция). Склады ГАП-участков относятся к промежуточным производственным складам.

По срокам хранения грузов возможны семь групп складов:

- 1) непосредственной перегрузки грузов (срок хранения $t_{xp} = 0$);
- 2) временного хранения ($0 < t_{xp} < 5$ сут.);
- 3) краткосрочного хранения грузов ($5 < t_{xp} < 20$ сут.);
- 4) со средними сроками хранения ($20 < t_{xp} < 40$ сут.);
- 5) длительного хранения ($40 < t_{xp} < 90$ сут.);
- 6) долгосрочного хранения ($90 < t_{xp} < 360$ сут.);
- 7) многолетнего хранения ($t_{xp} > 360$ сут.).

Важным признаком классификации является размер порций прибытия и отправления грузов.

По количеству наименований одновременно складываемых грузов можно классифицировать склады на два больших класса: склады однотипных грузов (с числом наименований в пределах от 60 до 100) и многономенклатурные склады (с числом наименований грузов в несколько сот или тысяч). Число наименований грузов существенно влияет на выбор способа хранения: на номенклатурных складах применяется рядное хранение (в клеточных стеллажах); на складах однотипных грузов – блочное хранение (в штабелях или в стеллажах с многоместными ячейками).

По высоте хранения грузов различают три основные группы одноэтажных складов:

- низкие – с полезной высотой зоны складирования до 5 м;
- средней высоты – с полезной высотой зоны складирования 5...8 м;
- высотные – с высотой зоны складирования грузов свыше 8 м.

По уровню механизации и автоматизации склады делят на следующие:

- механизированные;
- немеханизированные;
- высокомеханизированные;
- автоматизированные;
- автоматические.

В немеханизированных складах используют ручной труд при перегрузках, перемещении и складировании груза. В механизированных складах применяют средств механизации с ручным управлением для обслуживания зоны хранения грузов. В высокомеханизированных складах используют средства механизации с ручным управлением и отсутствуют ручные работы на этих операциях. В автоматизированных складах применяют полуавтоматические механизмы с вводом команд, например на клавиатуре, на операциях перемещения или складирования грузов. В автоматических складах используют автоматические механизмы с вводом команд от ЭВМ по каналам связи.

По технологии работы склады могут быть разделены на комплектовочные и с пакетной переработкой грузов; по виду складирования – на штабельные и стеллажные; по взаимному расположению хранилища и экспедиций – на поточные и тупиковые; по типу строительной части – на закрытые склады, навесы, открытые площадки, однопролетные и многопролетные, одноэтажные и многоэтажные.

Цель создания и функции складов в ГАП аналогичны функциям складов в любом производственном процессе. В то же время особенности гибкого производства накладывают свой отпечаток на устройство, оборудование и работу складов. Создание ГАП является естественным этапом научно-технического прогресса в области развития промышленного производства. Отличительными особенностями ГАП являются:

- возможность сравнительно частых изменений параметров обрабатываемых изделий;
- четкий ритм и организация производственного процесса;
- комплексная автоматизация всех основных технологических операций, включая и процессы перемещения и складирования изделий, заготовок, узлов и инструмента;
- минимальное участие человека в производственном процессе и контроле действия автоматического оборудования;
- замкнутость производственного цикла и относительная автономность действия системы;
- применение робототехнических средств для автоматизации процессов перемещения грузов и ЭВМ с терминальными устройствами для сбора и обработки информации, управления и контроля действия автоматических станков, машин и механизмов.

Автоматизированная и складская система ГАП предназначена для выполнения следующих основных функций:

- прием с внутривозовского транспорта сырья, материалов, заготовок, инструмента, пустой тары и их временное складирование;
- выдача этих грузов по заранее предусмотренному графику, порядку или на основании команд-импульсов;
- прием от транспортной подсистемы ГАП готовых деталей, отходов производства, бракованной продукции и их временное хранение;

– выдача на внутризаводской или внутрицеховой транспорт этих грузов по командам или по мере подхода транспортных средств (при циклических видах транспорта).

Складская подсистема ГАП может состоять из нескольких складов различного назначения. В общем случае в ГАП по выполняемым функциям могут быть следующие склады: сырья и материалов; инструмента и приспособлений; пустой транспортно-складской тары; комплектовочные; готовых и бракованных изделий; отходов производства. В некоторых типах производства возможно также в составе ГАП складов для накапливания промежуточных технологических заделов в тех случаях, когда для изготовления готовой продукции недостаточно одной установки на станок, а необходимо подавать деталь к нескольким станкам в той или иной последовательности.

В качестве складов, в зависимости от выполняемых ими функций, в ГАП используются различные комплексы устройств – начиная от стеллажных складов с автоматическим краном-штабелером до различного рода столов, питателей, накопителей, напольных и подвесных, проходных или замкнутых циркуляционных конвейеров.

Опыт создания автоматических складов показывает, что одним из эффективных направлений совершенствования складского хозяйства предприятий является создание укрупненных или объединенных складов многоцелевого назначения. Укрупнение складов путем их объединения позволяет более эффективно применять современные средства механизации и автоматизации складских работ. Такое направление целесообразно и при создании автоматических складов ГАП. В каждом случае проектирования ГАП можно рекомендовать рассмотрение возможности и целесообразности создания единого многофункционального склада в составе ГАП.

Таким образом, складская подсистема ГАП представляет собой или несколько автоматических складов различного функционального назначения, взаимодействующих со смежными подсистемами ГАП, или единый автоматический склад многофункционального назначения, взаимодействующий с подсистемами ГАП и внутризаводским транспортом.

Особенности производственных складов ГАП следующие:

- сравнительно небольшие сроки и запасы хранения грузов (до 2–3 сут.);
- возможность прибытия и отправления грузов небольшими партиями, с небольшим интервалом времени или даже непрерывным потоком (например, на конвейере);
- зависимость грузопотоков не столько от особенности работы транспорта, сколько от производственной обстановки;
- ритмичность грузопотоков, отсутствие большой неравномерности (по сравнению со складами, связанными с работой магистрального транспорта). Эти особенности, наряду со спецификой гибких производственных систем, оказывают влияние на общую техническую оснащенность, оборудование и технологию работы складов ГАП.

В качестве основного (иногда и единственного) варианта таких складов обычно рассматривают склады с автоматическим стеллажным краном-штабелером, двумя стеллажами по обеим сторонам от него и тупиковой компоновкой, при которой грузы принимают и выдают с одного и того же торца склада. Такие склады во многих случаях оказываются наиболее эффективным и универсальным типом склада, применяемого для различных назначений.

По применяемому оборудованию в зонах хранения возможны различные типы складов в ГАП (рис. 4.1).

По техническому оснащению зоны хранения грузов в автоматических складах ГАП основными можно считать следующие склады:

- с клеточными стеллажами и автоматическим мостовым краном-штабелером (мостовым складским роботом);
- с клеточными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером (складским роботом);
- с гравитационными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером (каретками-операторами);
- автоматические элеваторные;
- автоматические подвесные (на основе подвесного толкающего конвейера с автоматическим адресованием грузов).

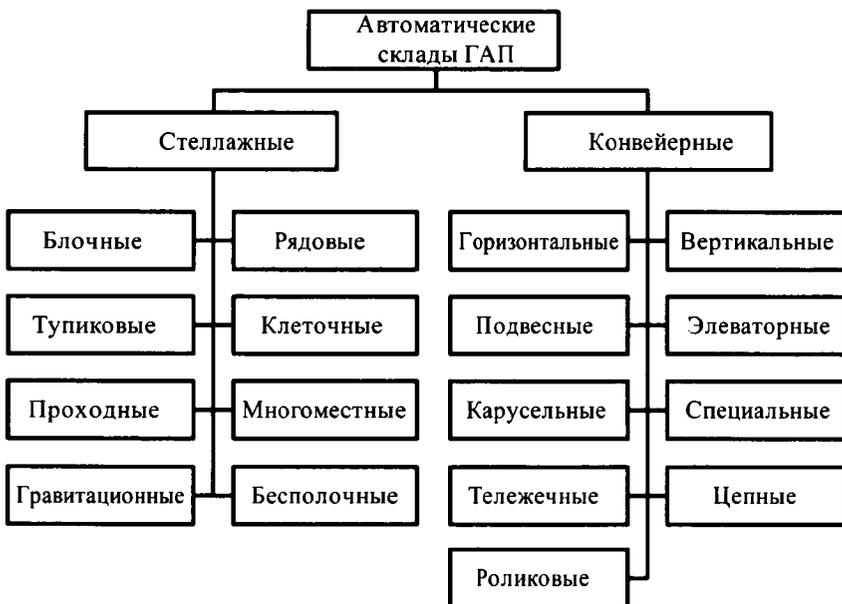


Рис. 4.1. Типы складов

Схемы основных типов стеллажных складов с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами приведены на рис.4.2, а с автоматическими мостовыми кранами-штабелерами – на рис. 4.3. Наибольшее распространение в автоматическом производстве получили склады с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами, поскольку они занимают мало места, имеют высокую производительность и более легко поддаются автоматизации.

Недостаток складов с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами состоит в том, что грузоподъемность одной секции невелика, особенно при небольшой высоте помещения. Для достижения достаточной вместимости склада сооружают длинные стеллажи.

При единичном и мелкосерийном производстве применяют стеллажные склады с автоматическими мостовыми кранами-штабелерами (рис. 4.3). Автоматические мостовые краны-штабелеры серийно не изготавливаются, а как правило изготавливаются по индивидуальным проектам.

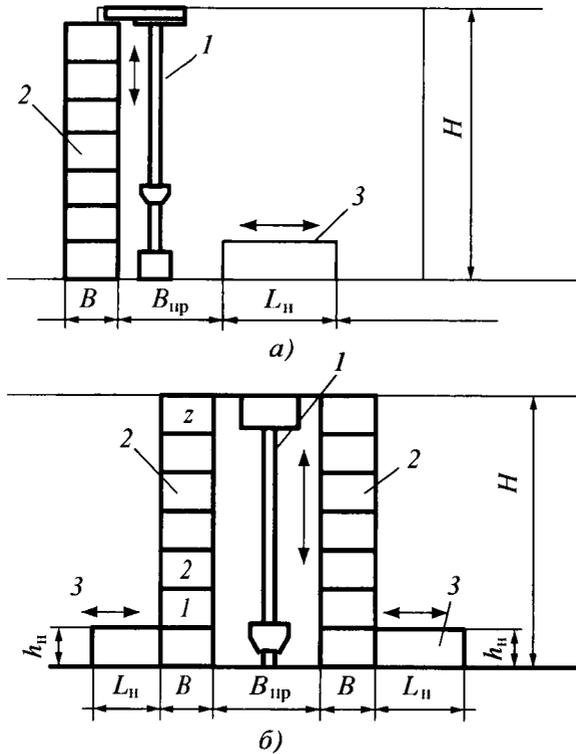


Рис. 4.2. Типовые схемы поперечного сечения складов ГАП с автоматическим стеллажным краном-штабелером 1, одним (а) и двумя (б) стеллажами 2 и накопителями 3:

B – ширина стеллажа; B_{np} – ширина прохода для крана штабелера; $L_{н}$ – длина накопителя; H – высота склада; $h_{н}$ – высота накопителя

Автоматизированные склады с гравитационными стеллажами (рис. 4.4) используют в тех случаях, когда при незначительной номенклатуре грузов требуются сравнительно большие запасы материалов, полуфабрикатов и т.п.

Склады с механизированными и автоматизированными элеваторными стеллажами применяют при малых грузопотоках, небольших сроках и запасах хранения грузов и малых размерах самих деталей и изделий.

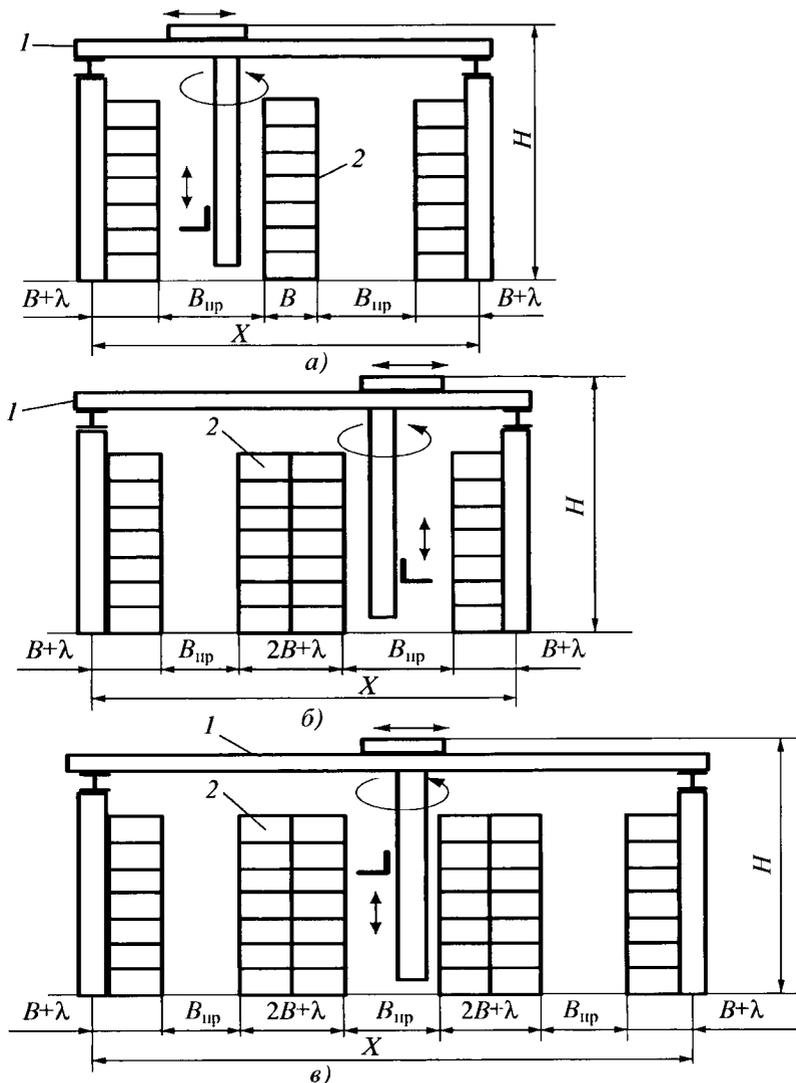


Рис. 4.3. Типовые схемы поперечного сечения складов ГАП с автоматическим мостовым краном-штабелером 1 и тремя (а), четырьмя (б) и шестью (в) стеллажами 2:
 X – ширина склада; λ – зазор между грузом и стеллажом (основные размеры см. рис. 4.2)

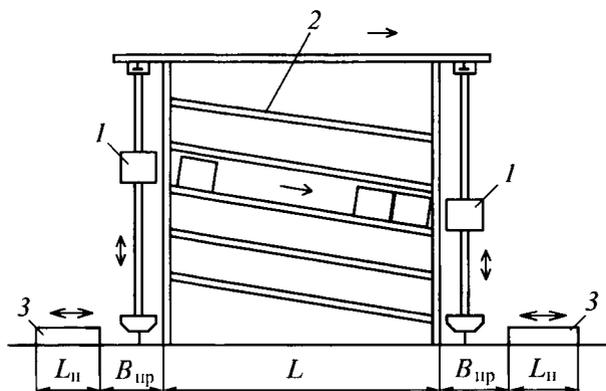


Рис. 4.4. Элеваторный склад:

1 – автоматические каретки-операторы; 2 – гравитационные (наклонные) стеллажи; 3 – перегрузочные устройства

Для межучасткового накопления и хранения грузов в многономенклатурном производстве (в частности, между цехами механической обработки и сборки) применяют элеваторные и циркуляционные склады (рис. 4.5, 4.6). Одна из конструкций элеваторного автоматизированного склада (см. рис. 4.5) представляет собой вертикально замкнутый конвейер с двумя транспортными цепями 3, между которыми размещаются полки 4. На полках устанавливают специальную тару 11 для хранения изделий. Габаритные размеры и объем тары выбирают в зависимости от требований производства. Полки подвешены на осях 7, закрепленных на кронштейнах 10 с двумя парами капролоновых роликов 9 и 12. Ролики 9 большего диаметра перемещаются по направляющим 17, образующим основную траекторию транспортного органа. Ролики 12 малого диаметра перемещаются по дополнительным направляющим 8, благодаря чему не допускается поворот полок вокруг осей и обеспечивается их плоскопараллельное движение. Движение кронштейнам 10 передается от специальных поводков 6, укрепленных на звеньях цепей 3. Звездочка 2 является ведущей, а звездочка 5 ведомой, с помощью которой осуществляется натяжение цепи. Движение на ведущую звездочку передается от электродвигателя и редуктора через цепную передачу 1. При взятии необходимого груза по команде ЭВМ около каретки (на рисунке не показана)

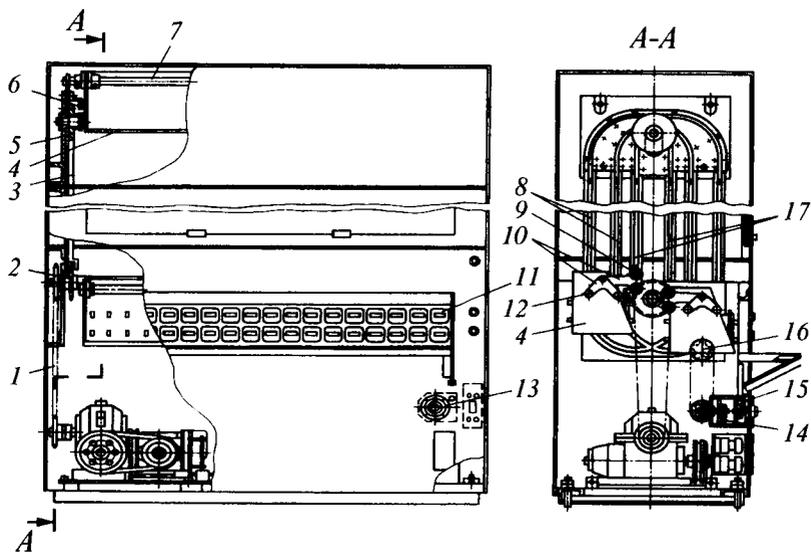


Рис. 4.5. Элеваторный склад:

1 – цепная передача; 2 – ведущая звездочка; 3 – транспортные цепи; 4 – полки; 5 – ведомая звездочка; 6 – поводки; 7 – оси; 8 – дополнительные направляющие; 9 – ролики большого диаметра; 10 – кронштейны; 11 – тара для хранения изделий; 12 – ролики малого диаметра; 13 – программный пульт; 14, 15 – роторы; 16 – диск; 17 – направляющие

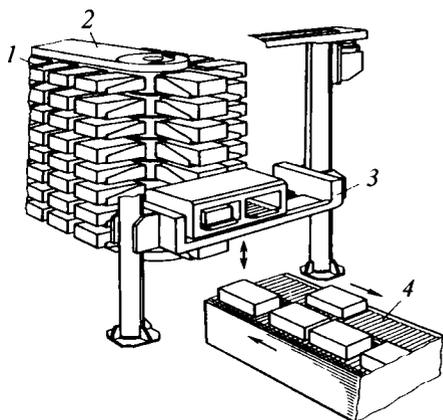


Рис. 4.6. Многоярусный автоматический склад с горизонтальной циркуляцией грузов:

1 – груз; 2 – ярусы; 3 – каретка; 4 – двухрядный конвейер

останавливается нужная полка. Для выполнения этой процедуры ротор 15 программного пульта 13 устанавливается на контактной плате в положение, соответствующее номеру заданной полки. Во время движения полок ролики 12 поворачивают на один шаг диск 16, связанный через цепную передачу и коническую пару с ротором 14, закрепленным на своей контактной плате. При совпадении положений роторов в позиции загрузки-выгрузки останавливается требуемая полка. После этого каретка отыскивает по горизонтали нужную ячейку, берет из нее тару с деталями и устанавливает на приемное устройство склада (на рис. 4.5 не показано). Каркас склада изготовлен из профильной стали и выполнен секционным, что позволяет наращивать емкость стеллажа.

Кроме того, возможны конвейерные накопители в виде роликовых или цепных конвейеров и карусельные склады на основе циркуляционных горизонтально (см. рис. 4.6) и вертикально замкнутых конвейеров (рис. 4.7) и роторных накопителей, а также склады с передвижными стеллажами.

Стеллажные склады с автоматическими кранами-штабелерами рекомендуют применять при больших запасах хранения грузов, мостовые складские роботы используют при больших запасах хранения более крупных грузов и меньших грузопотоках.

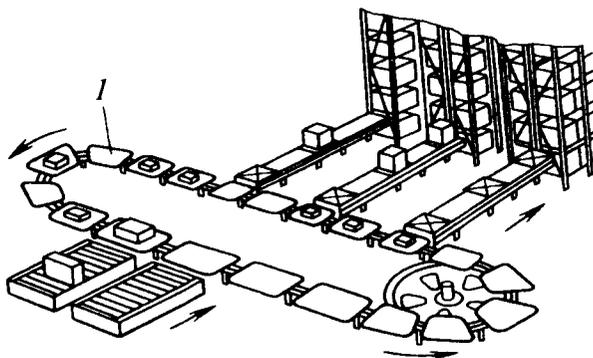


Рис. 4.7. Автоматизированные склады с вертикальной циркуляцией накопителей:

1 – циркуляционные накопители

Автоматические склады с гравитационными стеллажами применяют при небольшой номенклатуре и больших запасах хранения, поскольку в каждой наклонной дорожке (роликовой) гравитационных стеллажей следует размещать груз только одного наименования. Преимуществом гравитационных стеллажей является наиболее полное использование площадей и объемов производственных помещений, направленность перемещения грузов, а также обеспечение важного принципа "первым поступил – первым выдан" (ПППВ).

Элеваторные автоматические склады (см. рис. 4.5) представляют собой люлечные элеваторы, заключенные в кожухе или ограждении. Их целесообразно применять при небольших запасах хранения, небольших размерах деталей и небольших сроках хранения грузов, особенно в тех случаях, когда нет возможности разместить на участке стеллажный склад. Подвесные автоматические склады применяют (рис. 4.8) в ГАП, когда в виде внутрисистемного транспорта используют подвесной толкающий конвейер с автоматической адресацией грузов.

Основой для выбора всех параметров склада, подъемно-транспортного и складского оборудования, компоновки и объемно-планировочных решений является технология складских работ.

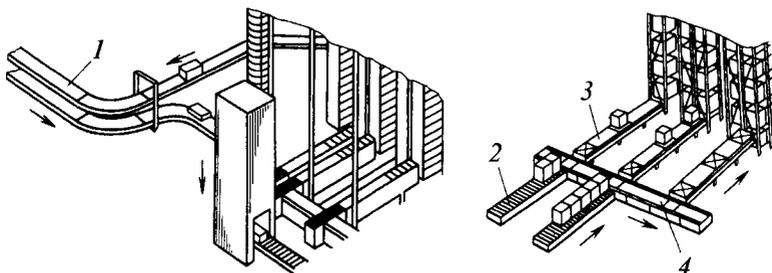


Рис. 4.8. Автоматизированные склады на базе подвесных конвейеров и напольных транспортеров:

- 1 – подвесные конвейеры; 2 – напольные транспортеры;
3 – приемные устройства; 4 – линейные накопители

В технологическом процессе автоматизированного склада имеются два взаимосвязанных уровня: грузовые операции; переработка сопутствующей информации, обеспечивающая четкий ритм грузовых работ. Всего на складах насчитывают до 40 различных технологических операций (разгрузка, распаковка, сортировка, взвешивание, укладка в складскую тару, складирование, оформление документов и т.д.).

Технологию работы автоматического склада ГАП разрабатывают с учетом специфики ГАП как автоматической системы с безлюдной технологией. При приеме сырья, материалов, заготовок в автоматизированный склад осуществляют следующие технологические операции:

- разгрузку груженых поддонов с транспортного средства внутрицехового транспорта на приемное устройство;
- проверку соответствия фактически поступивших грузов по количеству и качеству сведениям, содержащимся в сопроводительных документах;
 - ввод информации о поступивших грузах в ЭВМ;
 - получение от ЭВМ на экране дисплея информации об общем количестве грузов на складе с учетом поступившего количества и адреса наиболее рационального расположения груза в стеллажах склада;
 - подачу команды автоматическому крану-штабелеру на установку поступившего груза в стеллажи;
 - сброс информации о поступившем грузе с дисплея с одновременной передачей ее в долговременную память ЭВМ.

При выдаче со склада полуфабрикатов и заготовок в производственную подсистему выполняют следующие основные технологические операции:

- получение сигнала с рабочего места в виде номера изделия, названия, шифра, числа деталей, которые необходимо к нему подать;
- ввод поступившего запроса на заготовки в память управляющего вычислительного комплекса;
- высвечивание на экране дисплея решения управляющей ЭВМ с адресом поддона с полуфабрикатами или заготовками, которые целесообразно выдать со склада на запрашивающий РТК;

- набор оператором после визуального контроля и согласия с ЭВМ команды автоматическому крану-штабелеру на выдачу поддона с грузом из соответствующего адреса;

- автоматическую выдачу краном-штабелером груженого поддона из заданной ячейки стеллажного хранилища на перегрузочное устройство;

- подачу сигнала краном-штабелером о выполнении команды;

- ввод оператором в память ЭВМ сведений о выдаче груза;

- ожидание поддоном, выданным из зоны хранения склада, подхода транспортного средства транспортной подсистемы ГАП;

- автоматическую перегрузку поддона с заготовками с накопителя на транспортную подсистему ГАП.

Аналогичные операции выполняют и при выдаче готовых изделий с автоматического склада ГАП. Кроме того, дополнительно в этом случае выполняют печатание (автоматическое) сопроводительного транспортного документа на выдаваемые из автоматического склада готовые изделия.

По запросу на экран дисплея управляющий вычислительный комплекс выдает следующие сведения о состоянии автоматического склада:

- общее число занятых и свободных мест в хранилище склада;

- количество принятых и выданных грузов;

- продолжительность времени, в течение которого автоматический склад может питать производственный участок ГАП и другие сведения.

Автоматизированные склады относят к сложным вероятностным системам, так как они сложны по устройству, по числу входящих элементов и параметров, а прибытие и отправление грузов со склада представляя собой стохастические процессы.

Принимая и отправляя грузы, складская система не остается постоянной, а переходит из одних состояний в другие, поэтому функционирование складской системы можно рассматривать как процесс изменения ее в течение времени в пространстве состояний (фазовом пространстве):

$$W_1 \rightarrow W_2 \rightarrow W_3 \rightarrow W_4 \rightarrow W_5 \rightarrow W_6 \dots,$$

которые происходят под воздействием внешних транспортных систем, доставляющих грузы на склад и забирающих их со склада для доставки потребителям.

Изменение состояния складской системы происходит в момент прибытия очередной партии груза или в момент прибытия транспорта за грузом. При этом, несмотря на планирование производства и работы транспорта, конкретные моменты прибытия и отправления транспортных партий со склада случайные. Поэтому складская система переходит из одних состояний в другие в случайные моменты времени. Для математического описания такого характера изменений складской системы может быть применен математический аппарат марковских случайных процессов. В соответствии с этой теорией склад штучных грузов можно рассматривать как некоторую физическую систему W , состояние которой меняется с течением времени $W = W(t)$.

Основные состояния складской системы, непосредственно зависящие от погрузки и разгрузки внешнего транспорта, приведены в табл. 4.1, а основные переходы из одних состояний в другие – в табл. 4.2.

4.1. Основные состояния складской системы

№ состояния	Описание состояния	Обозначение	Операция		Вероятность состояния
			Разгрузка	Погрузка	
1	Отсутствие работ на складе	W_1	0	0	$P(W_1)$
2	Разгрузка и прием грузов на склад	W_2	1	0	$P(W_2)$
3	Выдача и погрузка грузов на транспорт	W_3	0	1	$P(W_3)$
4	Одновременное выполнение приема и выдачи грузов	W_4	1	1	$P(W_4)$

4.2. Основные переходы складской системы из одного состояния в другое

№ переходов	Моменты переходов	Обозначения	Вероятности переходов
1	Приход грузов при отсутствии выдачи	$W_1 \rightarrow W_2$	$P(W_1 \rightarrow W_2)$
2	Окончание разгрузки грузов при отсутствии выдачи	$W_2 \rightarrow W_1$	$P(W_2 \rightarrow W_1)$
3	Начало выдачи грузов без их приемки	$W_1 \rightarrow W_2$	$P(W_1 \rightarrow W_2)$
4	Окончание выдачи грузов без их приемки	$W_3 \rightarrow W_1$	$P(W_3 \rightarrow W_1)$
5	Начало выдачи во время разгрузки грузов	$W_2 \rightarrow W_4$	$P(W_2 \rightarrow W_4)$
6	Окончание выдачи во время разгрузки грузов	$W_4 \rightarrow W_2$	$P(W_4 \rightarrow W_2)$
7	Приход грузов во время выдачи	$W_3 \rightarrow W_4$	$P(W_3 \rightarrow W_4)$
8	Окончание разгрузки грузов во время выдачи	$W_4 \rightarrow W_3$	$P(W_4 \rightarrow W_3)$

При изменении состояния складской системы могут меняться или тип этого состояния, или некоторые параметры этого состояния $f(i)$ того же типа (например, разгрузка с грузовика, а погрузка на электрокару – тип состояния не изменяется, но изменяется объем погрузочных работ).

Фазовое пространство состояний складской системы можно представить в виде матрицы состояний:

$$W = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{n_1} & W_{n_2} & \dots & W_{nm} \end{pmatrix},$$

где первый индекс при W_{ij} показывает тип состояния, а второй индекс – диапазон изменения параметров состояния.

Вероятности состояний и переходов складской системы зависят от закономерностей внешних грузопотоков склада. При анализе случайного процесса функционирования складской системы с дискретными состояниями удобно пользоваться его геометрической схемой-графом состояний (рис. 4.9).

Вершины графа, показанные кружками, представляют собой состояния складской системы, а дуги графа, показанные стрелками, – переходы системы из одних состояний в другие.

В общем случае при любом числе учитываемых технологических операций и возможных состояний и переходов складской системы вероятности состояний складской системы $P_j(k)$ после k -го переходов могут быть определены по рекуррентной формуле через вероятность состояния системы после k_1 -го шага, где n – возможное число состояний складской системы; $P_j(k-1)$ – вероятность пребывания системы в j -м состоянии, в котором она оказалась после (k_1) -го перехода; $P(j \rightarrow i)$ – вероятность перехода системы из j -го в i -е состояние.

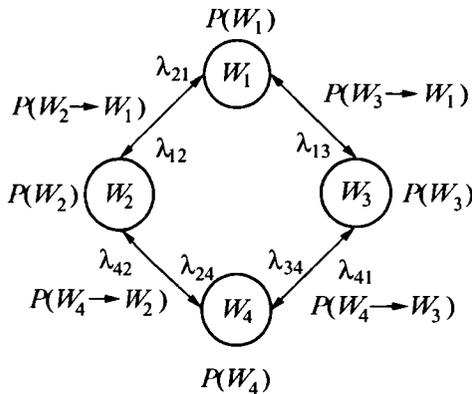


Рис. 4.9. Граф состояний

Матрица вероятностей переходов складской системы из одних состояний в другие имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nj} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix}.$$

Некоторые из переходных вероятностей P_{ij} могут быть равны 0. Это означает, что за один шаг переход складской системы из j -го состояния в i -е невозможен.

По главной диагонали матрицы приведены вероятности P_{ij} того, что складская система не выйдет из состояния W_i .

Интенсивностью перехода или плотностью вероятности перехода λ_{ij} складской системы из состояния W_i в состояние W_j называют предел отношения вероятности этого перехода системы за элементарный промежуток времени Δt , примыкающий к моменту времени, к длине этого промежутка Δt .

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}.$$

При малой величине Δt $P_{ij}(\Delta t) \approx \lambda_{ij} \Delta t$.

Используя методику А.Н. Колмогорова, можно составить систему дифференциальных уравнений состояния складской системы, которые описывают ее изменения во времени и позволяют определить вероятности состояний складской системы как функции от времени t : $P_1(t); P_2(t) \dots P_n(t)$.

4.2. РАСЧЕТ СОСТОЯНИЙ СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ

Число уравнений в системе равно числу возможных состояний склада. В левой части уравнений стоят первые производные от вероятности пребывания склада в соответствующем состоянии по времени. В правых частях стоят алгебраические суммы произведений вероятностей состояний, в которые может перейти склад из данного состояния (или из которых она может перейти в рассматриваемое состояние) на интенсивности этих переходов. Знак (-),

если система переходит из рассматриваемого состояния в другое; знак (+) – если наоборот.

Руководствуясь этим правилом, можно составить систему дифференциальных уравнений для любого числа выполняемых на складе технологических операций и любого числа возможных состояний складской системы.

В частности, для четырех основных состояний система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= -\lambda_{12}P_1 + \lambda_{21}P_2 - \lambda_{13}P_1 + \lambda_{31}P_3; \\ \frac{dP_2}{dt} &= -\lambda_{21}P_2 + \lambda_{12}P_1 - \lambda_{24}P_2 + \lambda_{42}P_4; \\ \frac{dP_3}{dt} &= -\lambda_{31}P_3 + \lambda_{13}P_1 - \lambda_{34}P_3 + \lambda_{43}P_4; \\ \frac{dP_4}{dt} &= -\lambda_{41}P_4 + \lambda_{24}P_2 - \lambda_{43}P_4 + \lambda_{43}P. \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Начальные условия для интегрирования такой системы отражают состояние системы в начальный момент. Если, например, система при $t = 0$ была в состоянии k , то полагают $P_k(0) = 1$; $P_i(0) = 0$ при $i \neq k$.

Предельным режимом для системы X называется случайный процесс, устанавливающийся в системе при $t \rightarrow \infty$.

Если все потоки событий, переводящие систему из состояний в состояние стационарны ($\lambda_{ij} = \text{const}$), общее число состояний конечно и состояний без выхода нет, то предельный режим существует и характеризуется предельными вероятностями состояний P_1, P_2, \dots, P_n ; $\sum_1^n P_k = 1$. Чтобы найти эти вероятности, приравняют обе левые части уравнений для вероятностей состояний (полагают все производные $\frac{dP_k(t)}{dt} = 0$) и решают полученную систему алгебраических уравнений. К ним добавляют нормировочные условия $\sum_1^n P_k = 1$.

Для облегчения задачи решения системы вручную (без ЭВМ) четвертое уравнение заменяют нормировочным условием:

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.$$

Система (4.1) – система обыкновенных однородных дифференциальных уравнений 1-го порядка с постоянными коэффициентами. Решение этой системы имеет вид:

$$P(W_i) = c_i^{(1)} e^{a_1 t} + c_i^{(2)} e^{a_2 t} + \dots + c_i^{(i)} e^{a_i t}, \quad i \in \overline{1, h}, \quad (4.2)$$

где величины $a_i, i = 1, 2, \dots, n$ являются корнями характеристического уравнения:

$$\begin{vmatrix} \lambda_{11} + a & -\lambda_{21} & \dots & -\lambda_{n1} \\ -\lambda_{12} & \lambda_{22} + a & \dots & \lambda_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\lambda_{1n} & -\lambda_{2n} & \dots & \lambda_{nn} + a \end{vmatrix}.$$

Коэффициенты $c_i^{(i)}, i = 1, 2, \dots, n$ вычисляют из начальных условий:

$$P(W_i) = 0, \quad P(W_\delta) = 1, \quad P(W_i) = 0, \quad \sum_{i=1, \delta-1} P(W_i) = 1,$$

$$\begin{matrix} i=\delta+1, n \\ i < \delta \end{matrix} \quad \begin{matrix} i=1, n \end{matrix}$$

где W_δ – некоторое исходное состояние, для которого вероятность в начальных условиях принимают равной 1, остальные коэффициенты в формуле (4.2) выражают через коэффициенты $c_i^{(i)}, i = 1, 2, \dots, n$ путем подстановки в исходную систему однородных уравнений (4.1).

При более точном рассмотрении технологии работы склада необходимо учитывать дополнительные внутрискладские операции. В этом случае система (4.1) будет состоять из 16 дифференциальных уравнений. Решение такой системы осуществляют на ЭВМ по стандартной программе.

Контрольные вопросы

1. Какое назначение склада и какие виды складов Вы знаете?
2. Какие сроки хранения грузов возможны?
3. Назовите виды механизации складов.
4. Приведите типы складов в зависимости от применяемого технического оборудования.

Глава 5

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

5.1. УПРАВЛЕНИЕ ГАП

Гибкое автоматическое производство (ГАП) базируется на использовании оборудования с программным управлением, построенного, как правило, по модульному принципу [2, 3, 5, 11, 16]. Основные модули ГАП – станки и технологические установки с ЧПУ, роботы-манипуляторы, транспортные средства, контрольно-измерительные устройства и установки, секции автоматических складов. Программное управление модулем основывается на использовании программы – совокупности символов (цифр, букв, специальных знаков), определяющих порядок действий с целью получения требуемого результата.

Программное управление реализуется по схеме, показанной на рис. 5.1.

Модуль с программным управлением в функциональном отношении делится на две части: управляющий автомат и объект управления. В управляющий автомат загружают программу P , которую автомат интерпретирует в виде последовательности управляющих воздействий, передаваемых по каналам $Y_1 \dots Y_m$.

Объект управления – станок, робот и т.п., реагируя на управляющие воздействия, выполняет соответствующие рабочие действия.

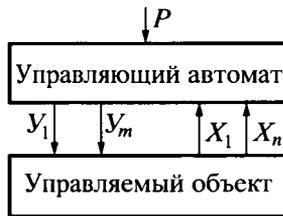


Рис. 5.1. Схема реализации программного управления ГАП

Текущее состояние объекта отображается величинами $X_1 \dots X_n$, формируемыми датчиками и поступающими в управляющий автомат в качестве сигналов обратной связи. За счет обратной связи управляющий автомат формирует последовательность действий в соответствии с текущим состоянием объекта управления. Для взаимодействия с другими модулями в управляющем автомате формируется информация S , характеризующая состояние модуля: моменты окончания отдельных фаз процесса и выполнение программы, особые ситуации, возникающие в процессе функционирования модуля и т.п. Программное управление модулем обеспечивает:

- автоматическое функционирование модуля в соответствии с заданной программой;
- гибкость функционирования – возможность изменения процесса функционирования путем загрузки в модуль другой программы.

Как правило, программное управление модулем ГАП реализуется путем использования ЭВМ в качестве управляющего автомата.

ЭВМ состоит из процессора, памяти и канала ввода-вывода. Процессор – устройство для выполнения команд программы, управляющей работой ЭВМ. Память – устройство для хранения программ, управляющих работой ЭВМ, и хранения данных, определяющих порядок функционирования модуля в целом и характеризующих состояние модуля – управляемого объекта и самой ЭВМ. Ввод-вывод информации (программ и данных) производится через канал ввода-вывода, обеспечивающий передачу информации между внешними по отношению к ЭВМ устройствами и памятью, а также процессором ЭВМ.

Вычислительная машина работает в соответствии с программой, хранимой в памяти. Процессор поочередно выбирает из памяти команду. Выполнение команды сводится к реализации заданной ей операции (сложения, сравнения и др.) над данными, хранимыми в памяти, или к инициированию операции ввода-вывода через канал ввода-вывода.

Выделяют две фазы функционирования управляющей ЭВМ:

- загрузку программы (данных);
- реализацию программы управления.

Загрузка программы (данных) сводится к передаче информации P через устройство передачи данных, подключенное к каналу ввода-вывода в память ЭВМ. Процесс загрузки выполняется под управлением специальной программы, постоянно хранимой в памяти ЭВМ. Эта программа, реализуемая процессором, обеспечивает управление работой устройства передачи данных и каналом ввода-вывода, а также контроль верности вводимой информации. При загрузке в память ЭВМ вводится вся информация (программы и данные), необходимая для управления. Реализация программы управления сводится к ее интерпретации – выполнению предписанных программой действий над данными, хранимыми в памяти, к формированию управляющих действий $Y_1 \dots Y_m$ и вводу в ЭВМ данных $X_1 \dots X_n$ о текущем состоянии объекта управления.

Управляющие воздействия $Y_1 \dots Y_m$ имеют цифровую форму – представляются в виде чисел и числовых кодов (наборов цифр). Эти воздействия должны быть преобразованы, как правило, в специальные электрические сигналы, управляющие работой электро-механических и других устройств. Для преобразования числовых значений и кодов $Y_1 \dots Y_m$ используют специальные блоки – *устройства сопряжения с объектом* (УСО), на выходе которых формируются сигналы $Y_1^* \dots Y_m^*$ вида, соответствующего специфике управляемого объекта, – станка, установки, транспортного средства. Состояние управляемого объекта характеризуется специфическими физическими величинами $X_1^* \dots X_n^*$: угловыми или линейными перемещениями, напряжениями и токами на выходах датчиков и др. Для ввода в ЭВМ эти величины должны быть преобразованы в цифровую форму – числовые значения и коды. Величины $X_1 \dots X_n$ преобразуются устройствами сопряжения с объектами, тип которых зависит от природы $X_1^* \dots X_n^*$. Данные о состоянии модуля формируются по программе, реализуемой ЭВМ, выводятся через канал ввода-вывода и устройство передачи данных.

Вычислительные машины, устройства сопряжения с объектом и передачи данных являются техническими (аппаратурными) средствами системы управления, функционирующими под управлением программных средств.

Программные средства – совокупность программ, определяющих порядок реализации функций, возложенных на систему управления. В зависимости от назначения программы делятся на *обслуживающие и функциональные* (технологические). *Обслуживающие программы* предназначены для выполнения функций, вспомогательных в аспекте целевого назначения модуля: управление начальной загрузкой программ и данных в память ЭВМ, контроль работоспособности ЭВМ и прочих аппаратурных средств системы управления, управление обмена данными с другими данными (модулями) ГАП.

Совокупность обслуживающих программ называют *операционной системой ЭВМ*.

Порядок функционирования управляемого объекта задается функциональными программами. Функциональная схема системы управления ГАП представлена на рис. 5.2 (на уровне линии, участка, цеха).

Исполнительный комплекс ГАП состоит из трех основных систем:

- совокупности ячеек, объединяющих обрабатывающие, контрольно-измерительные и робототехнические (транспортные) модули, номенклатура которых определяется технологией производства;
- транспортной системы, состоящей из автоматических транспортных средств, программно управляемых системой управления ТС;
- автоматического склада, программно управляемого системой управления АС.

Как правило, каждая ячейка, транспортная система и автоматический склад управляются выделенной для этой цели ЭВМ, на основе которой и строится соответствующая система управления. Эти ЭВМ реализуют функции по управлению оборудованием в соответствии с загружаемыми в них программами и формируют сообщения о завершении операций или об особых ситуациях, возникающих при работе управляемого ими оборудования. Совместное функционирование ячеек, транспортной системы и склада обеспечивается системой управления ГАП, которая включает ЭВМ, управляющую ЭВМ низшего уровня иерархии, оборудование, аппаратуру связи ЭВМ СУ ГАП с другими ЭВМ и устройство для обслуживания операторов, контролирующих работу ГАП.

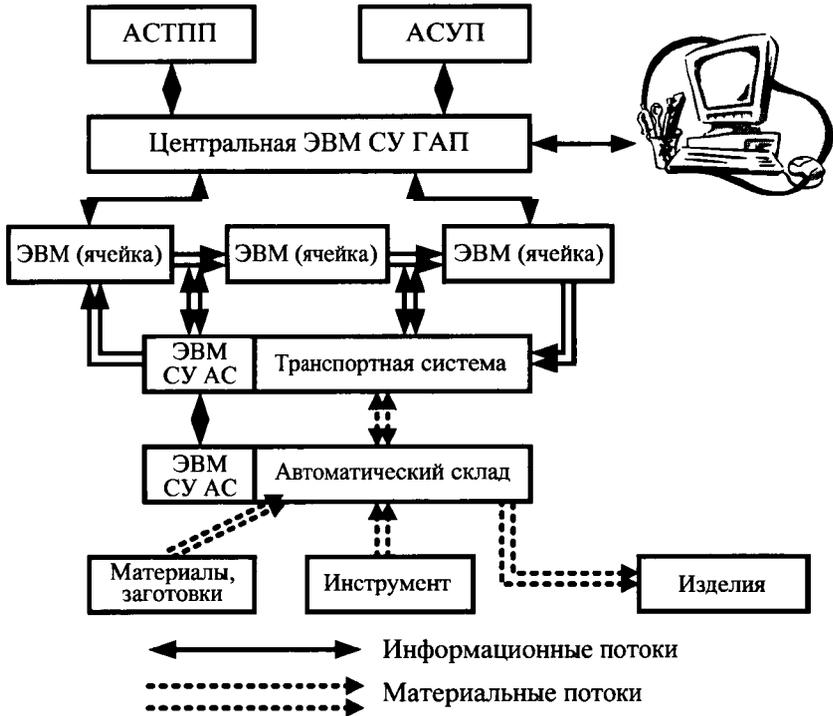


Рис. 5.2. Функциональная схема управления ГАП

Основные функции системы управления ГАП:

- загрузка в ЭВМ программ, обеспечивающих функционирование компонентов исполнительной системы в соответствии с планом производства изделий;
- синхронизация работы компонентов исполнительной системы с темпом работы оборудования согласно заданной технологии и плану производства изделий.

Указанные функции реализуют следующим образом. Загрузка программ в ЭВМ, управляющих ячейками, транспортной системой и складом, сводится к передаче программ из памяти ЭВМ СУ ГАП в ЭВМ, управляющих компонентами исполнительной системы. Процедура загрузки программ представляет собой переналадку

производства, которая сводится не к переналадке оборудования, а к передаче информации в ЭВМ, управляющих оборудованием.

Работа компонентов ГАП синхронизируется путем инициирования работы соответствующих компонентов в заданные моменты времени согласно циклограмме функционирования ГАП и текущему состоянию каждого компонента ГАП. Инициирование работы компонентов и контроль их состояния достигают за счет передачи сообщений (команд, данных о состоянии) между ЭВМ СУ ГАП и ЭВМ, управляющими компонентами исполнительной системы ГАП. Сообщения передают по линиям связи, объединяющим все ЭВМ в единый управляющий комплекс. В системе управления ГАП могут вводиться связи – линии передачи данных между ЭВМ одного уровня (см. рис. 5.2), что обеспечивает уменьшение нагрузки на центральную ЭВМ. Система управления ГАП может быть информационно связана с АСТПП и АСУП.

Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) обеспечивает подготовку программ функционирования ГАП для каждого из изделий, входящего в номенклатуру ГАП. Подготовка программ начинается с разработки маршрутов движения материалов (заготовок) и изделий в процессе их обработки между секциями автоматического склада и ячейками ГАП с определением состава инструмента, используемого на каждом технологическом участке, и составления технологического процесса на изделие. На основе описания технологического процесса разрабатывают управляющие программы для ячеек: программы управления станками, роботами-манипуляторами, контрольно-измерительными устройствами, транспортной системой и автоматическим складом. Путем нормирования операций, выполняемых ячейками, транспортными средствами и складом, определяется циклограмма производства изделия и партии изделий. На основе циклограммы формируется программа центрального управления исполнительной системы управления ГАП, реализуемая центральной ЭВМ системы управления ГАП. Результатом работы АСТПП является множество технологических процессов, реализуемых через программы для управляющих ЭВМ ГАП, а также оценки продолжительности производственного процесса.

Автоматизированная система управления производством (АСУП) обеспечивает календарное и оперативное планирование производства, учет продукции и использование производственного оборудования, комплектацию производства материалами, заготовками, инструментом, выдачу оперативной информации о состоянии производства. ГАП функционирует в соответствии с календарным планом, формируемым АСУП, и система управления ГАП передает в АСУП данные о ходе производства, необходимые для оперативного планирования и учета производства. Данные между АСУП и ГАП передаются по линиям, связывающим ЭВМ АСУП и центральную ЭВМ системы управления ГАП.

На центральную ЭВМ системы управления ГАП возлагают функции по обеспечению диспетчирования работы ГАП. В особо сложных ситуациях диспетчирование производится человеком-оператором. В этом случае центральная ЭВМ отображает для использования оператором информацию о ходе производственного процесса (состоянии оборудования, выпуске изделий и др.), а также выходе из строя оборудования, нарушениях производственного цикла и т.д. Центральная ЭВМ принимает директивы от оператора ГАП и на основе их формирует команды для реализации оборудованием ГАП директив оператора. Для выполнения функций, связанных с диспетчированием, центральная ЭВМ системы управления ГАП снабжается соответствующими программами и устройствами ввода-вывода данных, обеспечивающими, например, ввод данных в ЭВМ с клавиатуры оператора и вывод их на дисплей и печатающее устройство.

Промышленность производит широкую номенклатуру ЭВМ, предназначенных для решения разнообразных задач в различных условиях эксплуатации. На систему управления ГАП возлагается решение широкого перечня задач, связанных с несколькими уровнями управления. Каждый уровень управления характеризуется соответствующей спецификой форм представления данных, сложностью функций и вычислений. Естественно, типы и характеристики ЭВМ, используемые на разных уровнях управления, должны быть сбалансированы с задачами управления, т.е. соответствовать классу задач и требованиям по времени их решения и надежности функционирования системы управления.

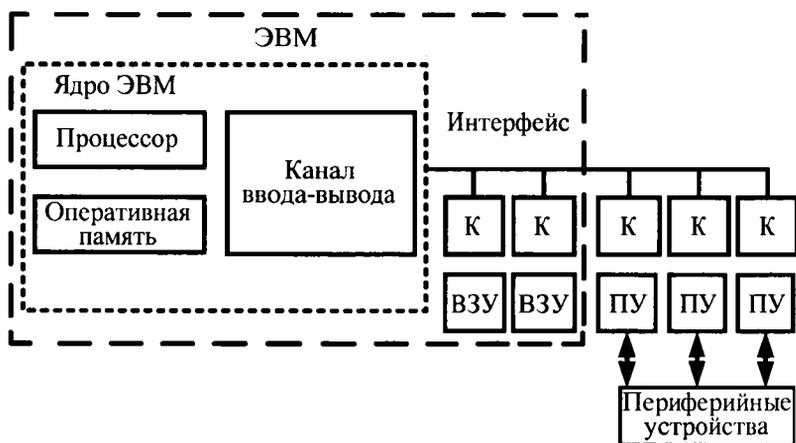


Рис. 5.3. Традиционная структура ЭВМ:

К – контроллер; ВЗУ – внешние запоминающие устройства;

ПУ – периферийные устройства

Традиционная структура ЭВМ схематично представлена на рис. 5.3.

Центральная ее часть – ядро ЭВМ – состоит из процессора, оперативной памяти и средств, обеспечивающих ввод и вывод данных и образующих канал ввода-вывода.

В зависимости от назначения ЭВМ делят на несколько классов: общего назначения, проблемно-ориентированные (мини-, микро-, персональные ЭВМ) и специализированные (программируемые контроллеры).

ЭВМ общего назначения предназначены для решения широкого круга задач: научно-исследовательских, инженерно-технических, учетно-статистических, облегчающих сложность алгоритмов и вычислений и большим объемом данных. Характерными свойствами ЭВМ общего назначения являются:

- разнообразие форм представления данных и высокая точность представления значений, логические значения и символьные данные;

- обширная номенклатура операций, включающая все операции двоичной и десятичной арифметики и арифметики специальных чисел, а также широкий набор специальных операций;
- большая емкость оперативной памяти ;
- развитая организация системы ввода-вывода данных.

Типичная область применения ЭВМ общего назначения – САПР, АСТПП и АСУ предприятий.

Проблемно-ориентированная ЭВМ предназначена для решения ограниченного круга задач, связанных с управлением объектами, регистрацией их функционирования или проведением относительно несложных расчетов.

Наибольшими возможностями в этом классе обладают мини-ЭВМ, для которых характерны:

- разнообразие форм представления данных,
- широкая номенклатура операций,
- значительная емкость оперативной памяти,
- возможность подключения широкой номенклатуры внешних запоминающих устройств и устройств ввода-вывода данных.

МикроЭВМ предназначены для реализации небольшого числа относительно простых функций, связанных с обслуживанием объекта на основе поступающих от него измерительных данных.

В зависимости от способа конструктивной реализации микроЭВМ делятся на одноплатные и многоплатные. Одноплатные оформлены в виде унифицированной платы, на которой размещены интегральные схемы процессора, оперативной и постоянной памяти и каналов ввода-вывода, а также возможны устройства сопряжения с объектом.

Эти ЭВМ широко используют в системах устройств программного управления (УПУ), контрольно-измерительных устройствах, системах управления электроприводом.

Многоплатные микроЭВМ состоят из совокупности плат, оперативной и постоянной памяти, каналов ввода-вывода и контроллеров внешних устройств. В таких ЭВМ по сравнению с одноплатными использованы память большей емкости и более широкая номенклатура средств сопряжения с внешними устройствами.

Персональные ЭВМ – это малые ЭВМ общего назначения, предназначенные для обслуживания одного пользователя. Персональные ЭВМ построены на основе микроЭВМ, оснащенных внешними запоминающими устройствами и устройствами ввода-вывода, широко используемые в качестве автоматизированных рабочих мест (проектировщиков, технологов, экономистов).

Специализированные ЭВМ предназначены для реализации строго определенного класса функций или решения конкретной задачи.

В системах управления ГАП наибольшее распространение получили специализированные ЭВМ – программируемые контроллеры. По своим функциям программируемый контроллер близок к устройствам релейной автоматики. Он позволяет контролировать изменение входных сигналов и, реагируя на них, формировать управляющие сигналы типа "включить-выключить" или непрерывные сигналы в виде напряжений и токов. Однако в отличие от релейных устройств, реализующих жесткую логику управления, функции, реализуемые контроллером, программируются и хранятся в его памяти. Чаще всего контроллеры строят на базе одноплатной микроЭВМ, к ядру которой подключены средства для ввода-вывода дискретных или непрерывных сигналов.

В системах управления ГАП широко используют программируемые контроллеры, микро- и мини-ЭВМ. Первые встраиваются в систему управления роботов, контрольно-измерительные и трансфертные устройства и устройства с ЧПУ.

Если функции управления выходят за рамки возможностей контроллеров, то системы управления указанными объектами строят на основе одноплатных микроЭВМ, встраиваемых в соответствующее оборудование, а при реализации достаточно сложных задач управления – многоплатные микроЭВМ.

Для управления несколькими совместно функционирующими объектами, например, ячейкой ГАП, объединяющей роботы, станок и контрольно-измерительные устройства, используют многоплатные микроЭВМ, координирующие работу объектов за счет передачи управляющей информации контроллерам и микроЭВМ ниже лежащего уровня управления и контроля за состоянием объектов, отображаемым на выходах контроллеров и микроЭВМ.

Такие микроЭВМ образуют первый уровень системы управления ГАП.

Координацию работы ячеек технологической линии, транспортных средств и др. можно рассматривать в качестве функции управления второго уровня. Обычно на этом уровне осуществляют контроль и диагностику средств управления нижнего уровня и соответствующего оборудования для проведения профилактических, наладочных и ремонтных работ. С учетом этого, управление на втором уровне должно обеспечивать выполнение не только рабочих функций, но и ряда дополнительных, для реализации которых используют микроЭВМ, оснащенную внешней памятью для размещения программ запуска оборудования в работу для управления в основном режиме функционирования, контроля и диагностики технических средств и средств сопряжения с операторами. Координация работы всех подсистем ГАП является функцией третьего уровня управления, на котором обычно используют мини-ЭВМ с развитой внешней памятью, необходимой для хранения программ ЭВМ всех трех уровней управления и данных, характеризующих технические и производственные аспекты функционирования ГАП.

Для решения задач разной сложности созданы ряды ЭВМ, которые состоят из ЭВМ, имеющих одинаковую систему команд и интерфейсы, но разную емкость памяти, быстродействие и стоимость. Использование ЭВМ с одной системой команд обеспечивает программную их совместимость.

При построении системы управления ГАП желательно применять микро-ЭВМ, решающие задачи управления на нижнем уровне, с системой команд, совместимой с мини-ЭВМ, что облегчает разработку программного обеспечения микро-ЭВМ,

Система управления ГАП представляет собой функционально-распределенную неоднородную вычислительную систему, состоящую из комплекса ЭВМ, взаимосвязанных с вычислительными системами более высокого уровня иерархии. Комплексование ЭВМ обеспечивают путем организации каналов связи между ними, которые могут быть осуществлены тремя способами: через параллельный интерфейс (шину) ввода-вывода ЭВМ, через после-

довательный интерфейс ЭВМ, с помощью *аппаратуры передачи данных* (АПД). Выбор способа сопряжения зависит от расстояния между сопрягаемыми ЭВМ.

Первый способ используют для связи с объектами, находящимися на расстоянии, исчисляемым единицами или десятками метров. При этом интерфейсы ввода-вывода сопрягаемых ЭВМ связывают между собой через специальное устройство – адаптер.

Последовательный интерфейс состоит, как правило, из одной цепи – экранированной скрученной пары проводов, коаксиального кабеля или световода. Данные по цепи передаются в последовательном коде битами. Он обеспечивается за счет специального устройства – контроллера последовательного интерфейса, который преобразует последовательность слов (байт), передаваемых по параллельному интерфейсу, в последовательность сигналов, представляющих отдельные биты, которые передаются через последовательный интерфейс с фиксированной частотой. Для передачи данных на большие расстояния по широкополосным линиям связи и радиоканалам используют специальные приемы защиты от помех, воздействующих на линию связи.

Эти действия выполняются комплексом устройств, составляющих аппаратуру передачи данных.

5.2. УПРАВЛЕНИЕ ГПС

Управление *гибкими производственными системами* (ГПС) реализуют комплексные многофункциональные иерархически построенные *автоматизированные системы управления* (АСУ), в которых можно выделить две функциональные составные части: *управления технологическими процессами* (АСУТП) и *организационно-технологического управления* (АСУОТ). Первая решает задачи группового управления технологическим и транспортным оборотом, а вторая – задачи планирования, диспетчеризации и учета хода производства. Обе составные части АСУ ГПС тесно взаимосвязаны между собой как аппаратными, так и программными средствами; набор решаемых ими задач в различных ГПС может варьироваться.

АСУТП предназначена для выработки управляющих воздействий на комплексы (группы) основного и вспомогательного оборудования ГПС, передачи управляющих программ и другой требуемой информации в устройства локального управления (системы ЧПУ оборудованием, устройства электроавтоматики), приема информации от устройств локального управления, а также для организации хранения в памяти ЭВМ библиотек управляющих программ и необходимой технологической документации. Она должна обеспечивать непосредственное, групповое управление металло-режущими станками, машинами заготовительного производства, сборочными и сварочными автоматами, кузнечно-штамповочным оборудованием, роботами, контрольно-измерительными установками, транспортными средствами, автоматизированными складами и другими функциональными модулями ГПС в реальном масштабе времени. В состав АСУТП входят модули локального управления, средства информационно-измерительной и вычислительной техники.

В ГПС программное управление обеспечивает функционирование оборудования в автоматическом режиме в соответствии с заданной программой и возможность изменения процессов функционирования при смене программы. Последовательность действий оборудования и его рабочих органов определяется функциональными программами. Управляющие программы для систем числового и циклового программного управления оборудованием задают исходные данные для функциональных программ ЭВМ. Совокупность обслуживающих программ, которые обеспечивают управление работой ЭВМ, составляют операционные системы.

Главная проблема, возникающая при разработке системы группового управления оборудованием ГПС, – обеспечение взаимодействия устройств локального управления с ЭВМ. Решение этой проблемы связано с унификацией и стандартизацией программно-аппаратных интерфейсов (физического, логического и информационного).

Физический интерфейс определяет способ электрического и механического сопряжения ЭВМ и локальных устройств управления. Широко используются последовательные интерфейсы. Па-

раллельные интерфейсы пригодны для передачи данных на малые расстояния (до 5...15м).

Логический интерфейс определяет способ передачи информации (протокол обмена информацией) по каналу связи: способ установления и прекращения сеансов связи, размер передаваемых сообщений, процедуру контроля передаваемых данных.

Информационный интерфейс определяет состав и формат передаваемых по каналу связи сообщений, т.е. язык информационного обмена между ЭВМ и локальными устройствами управления. Примеры информации, передаваемой от ЭВМ:

- управляющие программы и подпрограммы;
- модули программного обеспечения;
- тестовые программы;
- данные о параметрах станка, начальных координатах обработки, величинах корректирования;
- данные об инструменте и режимах резания;
- различные команды;
- тестовые сообщения для вывода на дисплей оператора.

Примеры информации, передаваемой от локальных устройств управления:

- отредактированные управляющие программы, подпрограммы и модули программного обеспечения;
- запросы;
- данные о состоянии оборудования и локальных устройств управления; подтверждение выполнения команд.

При стыковке ЭВМ с локальными устройствами управления используются также дополнительные коммуникационные системы, выполненные на базе микропроцессоров. Такие системы в составе локальной вычислительной сети могут одновременно выполнять функции терминалов, с которых оператор вызывает требующиеся управляющие программы, вводит данные о ходе производства, состоянии оборудования и инструмента, делает различные запросы.

АСУОТ выполняет переработку производственной информации в соответствии с выдаваемыми оператором или АСУП задачами производственной программы и оперативной обстановкой на

производстве. При этом осуществляется стратегическое, тактическое и оперативное управление ГПС.

Стратегическое управление заключается в составлении производственных планов на месяц или более длительный период времени с учетом наибольшей загрузки оборудования, минимума переустановов обрабатываемых заготовок и минимума транспортных операций.

Тактическое управление обычно имеет дискретность действий один рабочий день (две или три рабочие смены). Вмешательство в работу ГПС на тактическом этапе управления приводит к модификации номинального производственного плана, разработанного на стратегическом этапе. На основании данных о ходе производственного процесса определяется целесообразность вмешательства в работу ГПС и, в случае необходимости, проводится это вмешательство для компенсации отклонений действующего производственного процесса от номинального планируемого. Корректирование планов проводится также при появлении срочных заказов, внеочередном ремонте оборудования, отсутствии заготовок и при других непредвиденных событиях.

В ходе оперативного управления выполняются: оперативное планирование производства с учетом директив тактического этапа управления; диспетчеризация производства в соответствии с плановым заданием; управление технологической подготовкой производства, взаимодействие всех иерархических уровней АСУ ГПС; сбор информации о состоянии производственного процесса, о работе служб и подразделений.

Для выполнения многочисленных ответственных задач АСУТП и АСУОТ разрабатывают огромное количество весьма сложных в методическом и структурном отношении алгоритмов и программ. Их реализация связана с формированием однородных уровней принятия решений, с выделением нескольких уровней в иерархических структурах. Каждому уровню соответствует свой комплекс задач и состав технических и программных средств. На рис. 5.4 приведен вариант трехуровневой структуры АСУ ГПС.

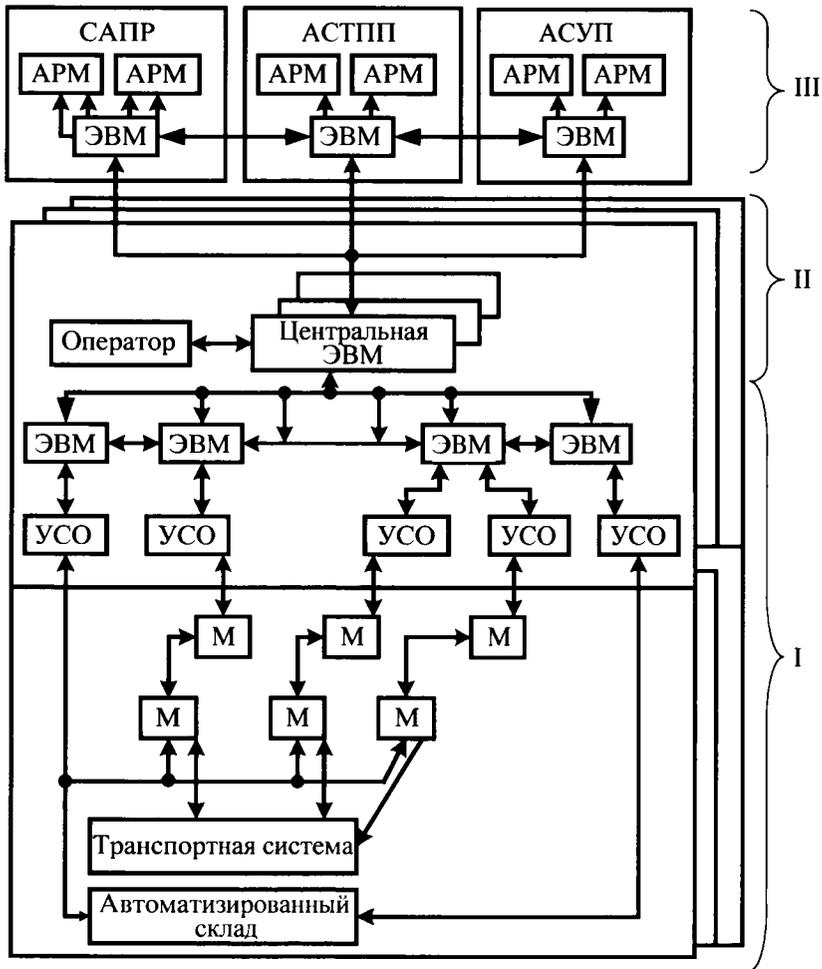


Рис. 5.4. Пример трехуровневой структуры АСУ ГПС:
 АРМ – автоматизированное рабочее место; УСО – устройство сопряжения с объектом; М – модуль исполнительной системы;
 I, II, III – уровни управления ППС

Первый уровень содержит локальные средства управления, контроля и диагностирования функциональных модулей ГПС.

Этот уровень осуществляет выполнение задач внутримодульного управления технологическими процессами (с оптимизацией режимов обработки), транспортирования, складирования, обеспечения технологической оснасткой, удаления отходов производства. Он реализуется с использованием микропроцессорных систем ЧПУ и устройств электроавтоматики, которые взаимодействуют с ЭВМ других уровней и могут при необходимости взаимодействовать между собой.

На втором уровне синхронизируется работа компонентов ГПС, решаются основные задачи группового управления оборудованием и АСУОТ. Управляющий вычислительный комплекс (центральная ЭВМ) может оптимизировать процессы управления с использованием информационной и динамической моделей ГПС. В качестве примера рассмотрим выполнение некоторых задач диспетчеризации производства, т.е. комплекса мероприятий, осуществляемых ЭВМ и оператором, которые направлены на обеспечение выполнения производственного задания.

Производственное задание, полученное от подсистемы планирования, представляет собой частично или полностью упорядоченное расписание производственных и технологических операций. АСУ ОТ обеспечивает, в качестве одной из своих функций, управление заданной последовательностью операций, синхронизируя операции во времени и осуществляя возможность изменения заданного расписания при изменении производственных обстоятельств.

По различным причинам в производственный процесс вносятся случайные возмущения, которые необходимо компенсировать для повышения ритмичности работы ГПС и обеспечения условий стабильного выпуска продукции. При изменении технологических маршрутов механообработки можно варьировать оборудованием, режущим инструментом, оснасткой и обрабатываемыми заготовками. Эффективным средством повышения устойчивости производства в условиях ГПС является реализация многовариантных технологических процессов.

Распространены два метода задания расписания производственных и технологических операций, обеспечивающие маршрутную гибкость:

- метод потенциальной гибкости;
- метод активной гибкости.

При методе потенциальной гибкости разрешение на использование альтернативных технологических маршрутов дает оператор ГПС только в экстремальных обстоятельствах. Выбором маршрута оператор управляет в реальном масштабе времени. При методе активной гибкости допускается использование нескольких технологических маршрутов для обработки идентичных деталей за счет маневрирования ресурсами. Выбор маршрута выполняет ЭВМ по алгоритму поиска требуемого ресурса. Такой подход предъявляет повышенные требования к уровню автоматизации оборудования ГПС и, прежде всего, транспортного оборудования, требует увеличение количества режущего инструмента на рабочих позициях. Он основан на принципах групповой технологии.

Поскольку производственное задание составляется по априорным или статистическим данным трудоемкости механообработки, то возможны отклонения фактической трудоемкости от расчетной. Поэтому в ходе оперативного планирования и диспетчеризации приходится определять реальные затраты времени на выполнение технологических операций. Например, время обработки партии корпусных деталей часто составляет несколько рабочих смен. По времени обработки первых деталей можно осуществлять более точное планирование работ на оставшийся период времени.

Мониторинг производственного процесса – это непрерывное слежение за ходом выполнения производственного задания. Время, оставшееся до конца планового периода, сопоставляется с трудоемкостью выполнения оставшейся части задания. Результат сравнения отображается на экране дисплея оператора.

Диспетчеризация связана также с управлением материальными потоками заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей, комплектов режущего инструмента и технологической оснастки. При этом выполняется выбор маршрута движения объектов транспортирования, координация работы автоматизированной транспортно-складской системы и технологического оборудования в ходе выполнения производственного задания, формирование и выдача соответствующих команд локальным устройствам управления.

Таким образом, результатом решения задач оперативного планирования и диспетчеризации производства является временное и пространственное упорядочение комплекса запланированных работ на этапах тактического и стратегического управления. Временное упорядочение выражается в определении сроков начала и окончания выполнения работ, а пространственное – в назначении работ на определенное технологическое оборудование. При решении задач используются имитационное моделирование, аналитические и статистические методы, правила предпочтения.

Примеры правил предпочтения:

- высший приоритет имеют технологические операции с минимальной трудоемкостью;
- высший приоритет имеет деталь, поступившая в очередь на обработку первой;
- для детали устанавливается время пребывания в очереди на обработку, после которого она приобретает высший приоритет.

На третьем уровне АСУ ГПС функционируют автоматизированные системы управления предприятием (АСУП), технологической подготовки производства (АСТПП), исследования и проектирования изделий (САПР).

Управление машиностроительным предприятием заключается в целенаправленном воздействии органов управления на производственный коллектив, информационные потоки и материальные ресурсы для эффективного решения задач, поставленных перед предприятием. Общие цели управления направлены на развитие социального и научно-технического прогресса, на повышение эффективности и качества работы.

АСУП – человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку производственной информации, необходимой для оптимизации управления предприятием. Процесс оптимизации предполагает выбор такого варианта управления, при котором достигаются экстремальные значения критериев, характеризующих качество управления. Повышение эффективности производственной и хозяйственной деятельности предприятия в условиях АСУП обеспечивается за счет внедрения экономико-математических методов управления и средств вычислительной

техники, упорядочения нормативных данных и документооборота, оперативного контроля выполнения своих функций отдельными исполнителями и подразделениями.

Укрупненная информационная модель автоматизированного управления производством (рис. 5.5) представляет информационные потоки между производственным процессом, основными

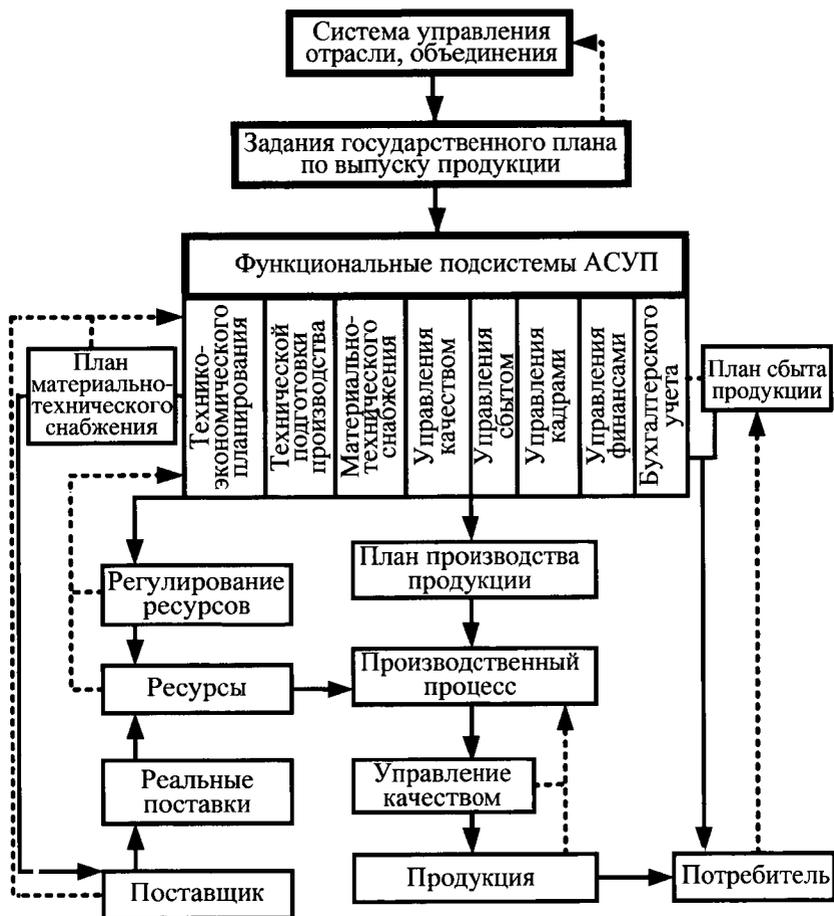


Рис. 5.5. Укрупненная информационная модель автоматизированного управления производством

функциональными подсистемами АСУП, поставщиками оборудования, материалов и комплектующих изделий, потребителями продукции. По входным каналам передается плановая информация (сплошные линии), по выходным каналам – информация о фактическом ходе производства (пунктирные линии).

ЭВМ и экономико-математические методы не подменяют социальное, экономическое и административное руководство, а дополняют его и способствуют оптимизации. Управление предприятием следует понимать как сочетание объективного и субъективного, формализованного анализа огромных массивов производственной информации и творческой деятельности человека.

5.3. ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ГПС

В данном разделе приводится пример ступеней реализации гибких производственных систем фирмы.

Многономенклатурные обрабатывающие центры (МОЦ) с ЧПУ со стандартизированными интерфейсами по заготовкам, инструментам и управлению используются:

а) в гибких производственных ячейках, в которых автоматическая обработка изделий производится на нескольких однотипных взаимозаменяемых МОЦ при гибком соединении потока материала, снабжении инструментами и интегрированном управлении при помощи ЭВМ;

б) в гибких производственных островах, где автоматическая полная обработка заготовок выполняется на взаимозаменяемых или дополняющих МОЦ при гибкой связи потока материала, снабжения инструментами и интегрированном управлении при помощи ЭВМ;

в) в связанных гибких производственных системах, где осуществляется связь производственных островов, ячеек, отдельных обрабатывающих центров и управляющей производственной системой, которые сопряжены в одно производство с компьютерной интеграцией.

Область применения *многономенклатурных обрабатывающих центров* показана в табл. 5.1.

5.1. Области применения обрабатывающих центров

Обрабатывающий центр УС-630	Обрабатывающий центр УС-630 с цепным магазином и системой смены инструментов
<i>Назначение</i>	
От небольшого до среднего количества различных деталей (1...50)	Среднее количество разных деталей (20...50)
Большое разнообразие форм деталей	Большое разнообразие форм деталей
От среднего до крупного объема партий (100...5000)	Средний объем партий (50...250)
Только инструменты для актуальной обработки	Только инструменты для актуальной обработки
<i>Установка</i>	
Автономные обрабатывающие центры	Автономные обрабатывающие центры с цепным магазином и системой для скоростной смены инструментов (QTC)
Без сопряжения снабжения заготовками и инструментами	Без сопряжения снабжения заготовками.
При необходимости с накопителем для палет	Подготовлено для расширения в ГПС
Подготовлено для расширения в ГПС	

Область применения *гибких производственных систем* показана в табл. 5.2.

5.2. Область применения гибких производственных систем

ГПС из МОЦ	ГПС из взаимозаменяемых и дополняемых МОЦ
<i>Назначение</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • От среднего до большого количества разных деталей (20...400) • Большое разнообразие форм деталей 	<ul style="list-style-type: none"> • От небольшого до среднего количества разных деталей (1...50) • От среднего до незначительного разнообразия форм деталей • От средних до больших размеров партий (50...5000)

Продолжение табл. 5.2

ГПС из МОЦ	ГПС из взаимозаменяемых и дополняемых МОЦ
<ul style="list-style-type: none"> • Небольшие партии (5...100) • Несколько взаимозаменяющихся МОЦ 	<ul style="list-style-type: none"> • Несколько взаимозаменяющихся или дополняющихся МОЦ • Комплексная обработка заготовок
<i>Установка</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Несколько обрабатывающих центров, при необходимости моечная и измерительная машины • Снабжение заготовками при помощи рельсовой транспортной системы или индуктивно управляемой транспортной системой • Снабжение инструментами из интегрированного склада инструментов при помощи робота-тележки • ЭВМ ячейки «SC II» с возможностью поэтапного расширения 	<ul style="list-style-type: none"> • Несколько взаимозаменяющихся или дополняющихся обрабатывающих станций (МОЦ) • Снабжение заготовками рельсовой транспортной системой, индуктивно управляемой транспортной системой, линейным или плоскостным порталом или линейной напольной транспортной системой • Снабжение инструментами с управлением от ЭВМ вручную или при помощи устройства скоростной смены (QTC) • Управляющая станция «SCI» с возможностью поэтапного расширения

Область применения *сопряженных гибких производственных систем* представлена в табл. 5.3.

На рис. 5.6 представлена связанная гибкая производственная система, в которой:

- снабжение производственного острова выполняется инструментами 1;
- производственный остров 2 выполняет предварительную обработку, фрезерование, черновое сверление и сверление отдельных отверстий;
- производятся ручные работы 3: очистка, зачистка, проверка и окончательный контроль;

5.3. Область применения сопряженных гибких производственных систем

Производственная характеристика	Производственные параметры
Назначение	<ul style="list-style-type: none"> • От небольшого до среднего количества разных деталей (1...50) • От незначительного до среднего разнообразия форм деталей • От средних до крупных партий (50...5000) • Много взаимозаменяющихся и дополняющихся машин • Комплексная обработка заготовок
Установка	<ul style="list-style-type: none"> • Связь производственных островов, производственных ячеек и автономных машин • Централизованное снабжение заготовками на индуктивных напольных тележках или на подвесных транспортных системах • Централизованное снабжение инструментами на индуктивных тележках или на подвесных транспортных системах • Связанная с помощью местной коммуникационной сети вычислительная система

- производственный остров 4 выполняет сверление отверстий, резьбы, развертывание и снятие заусенцев;
- производственный остров 5 применяется для тонкой и окончательной обработки;
- имеются автоматические места зачистки 6 с автоматической сменой инструментов;
- выполняется автоматическая сборка и контроль на участке 7;
- имеется проходная моечная машина 8 с ЧПУ для мойки, сушки, консервации.

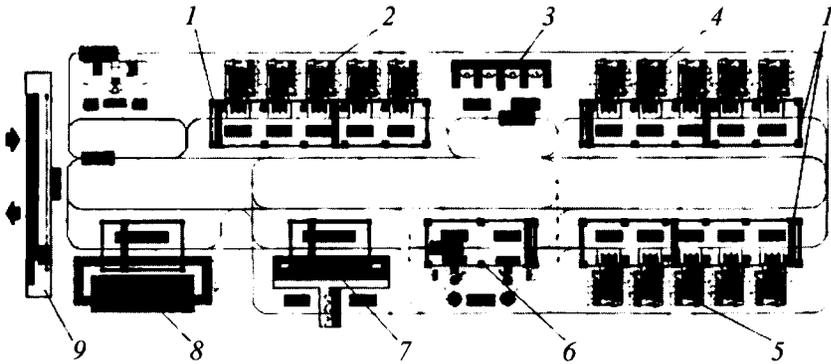


Рис. 5.6. Пример связанной ГПС:

- 1 – снабжение инструментами производственного острова;
- 2 – производственный остров для предварительной обработки; 3 – участок ручной обработки и контроля; 4 – производственный остров промежуточной обработки; 5 – производственный остров для тонкой и окончательной обработки; 6 – автоматические места зачистки с автоматической сменой инструментов; 7 – участок автоматической сборки и контроля; 8 – проходная моечная машина с ЧПУ для мойки, сушки, консервации; 9 – многоярусный склад

Представленная на рис. 5.6 сопряженная гибкая производственная система используется для комплексной обработки различных головок блока цилиндров и состоит из трех производственных островов, одной станции для зачистки и одной установки для автоматической сборки и испытания на герметичность. На производственных островах снабжение заготовок происходит при помощи портального манипулятора с ЧПУ. Централизованные транспортные работы входят в состав индуктивной транспортной системой.

В спектр заготовок, обрабатываемых этой сопряженной ГПС, входят четыре разные головки блока цилиндров, годовое производство которых составляет 66 000 деталей.

Управление многономенклатурным обрабатывающим центром с линейным накопителем (рис 5.7):

- требует меньше затрат;

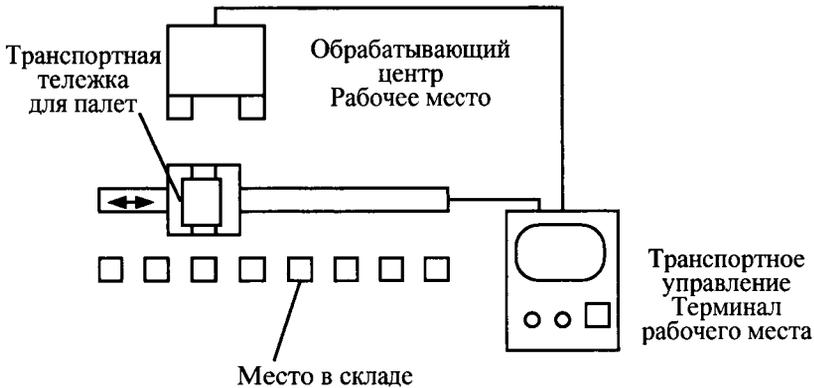


Рис. 5.7. Управление отдельным МОЦ с линейным накопителем

- обеспечивает автоматическое снабжение заготовками в малолюдных сменах;
- координирует и контролирует транспортную тележку палет и рабочее место зажима/разжима и управляет данными палет.

Управление отдельными МОЦ с помощью управляющей станции SC-I представлено на рис. 5.8.

Возможно использовать цифровое управление производством с автономными обрабатывающими центрами с применением ЭВМ

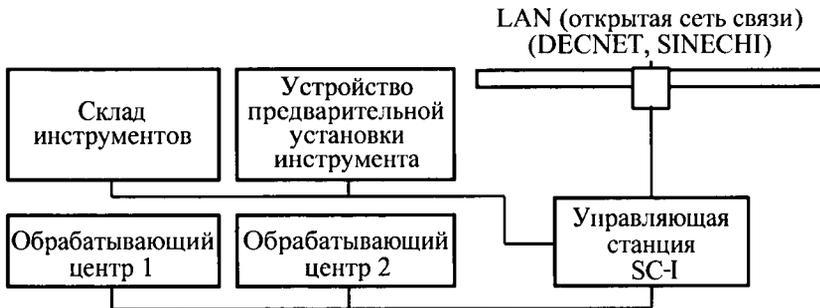


Рис. 5.8. Управляющая станция SC-I и отдельные МОЦ

в виде управляющей станции, которое служит для осуществления следующих задач:

- обеспечения снижения издержек в расчете на единицу продукции за счет использования управляющей станции «SC-I» для отдельных автономных МОЦ с возможностью сопряжения до двадцати центров;
- выполнения управляющей станцией основных функций: управление нарядами и их планирование; управление программой ЧПУ и их размещение по станкам; управление данными инструментов; сбор и анализ производственных данных.

Управление гибким производственным островом с помощью управляющей станции SC-I представлено на рис. 5.9.

Управляющая станция SC-I в промышленном исполнении служит для сопряжения нескольких МОЦ с ЧПУ систем автоматического снабжения заготовками.

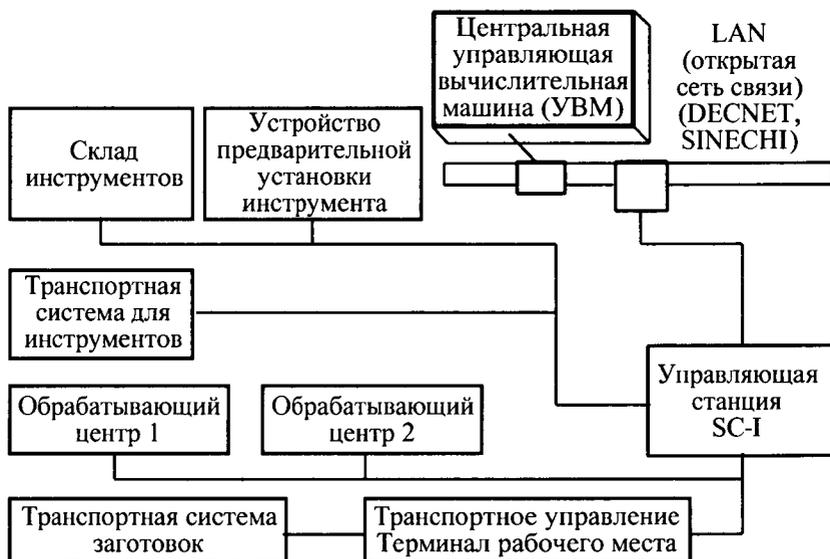


Рис. 5.9. Управляющая станция SC-I и гибкий производственный остров

Управляющая станция SC-I выполняет следующие функции: координирует, управляет и контролирует все функции автоматического процесса производства и снабжения в системе обработки; наряду с основными функциями дополнительно координирует транспортировку изделий и подготовку инструментов.

Задачами транспортного управления являются: управление транспортом палет и рабочими местами; управление складами; отображение положения транспортной системы; функции индикации и исполнение функции оператора транспортной системы.

Управление гибкой производственной системой с помощью управляющей станции SC-II представлено на рис. 5.10.

Центральная управляющая машина служит для сопряжения нескольких многономенклатурных обрабатывающих центров с ЧПУ систем автоматического снабжения заготовками при помощи транспортной тележки для палет и снабжения инструментами роботом-тележкой с использованием центральной ЭВМ.

ЭВМ ячейки с управляющей системой SC-II координирует, управляет и контролирует все функции автоматического производства и снабжения в производственной ячейке.

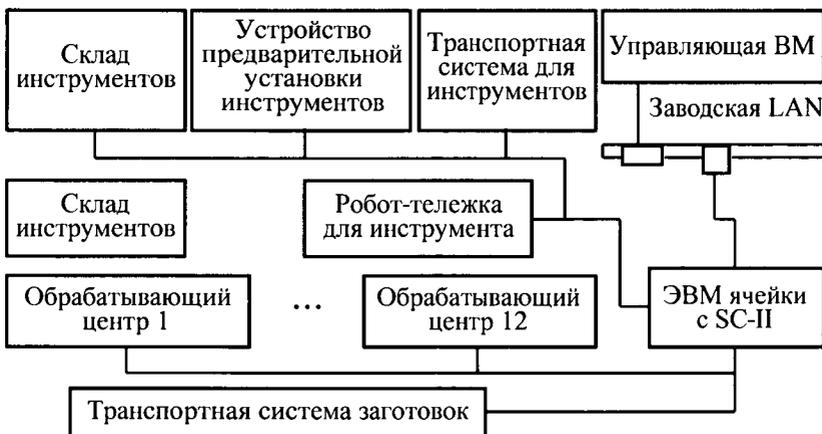


Рис. 5.10. Управляющая система ГПС с ячейками SC-II

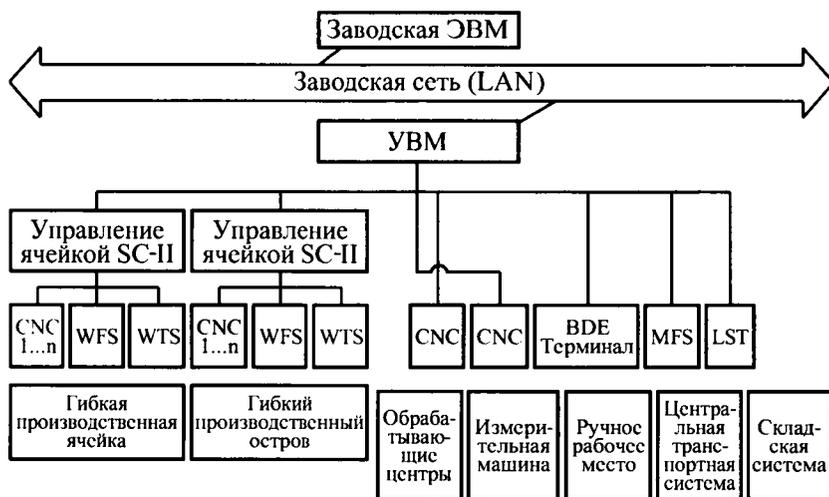


Рис. 5.11. Управление связанной гибкой производственной системы с сопряжением ЭВМ:

WTS – внутреннее управление транспортом заготовок, WFS – внутреннее управление снабжением инструментами, MFS – управление централизованным потоком материалов, LST – управление складами, CNC – ЧПУ машинами с помощью ЭВМ, BDE – сбор производственных данных

Основной задачей управления системой является: своевременное снабжение подключенных станков инструментами, заготовками и программами ЧПУ; управление заготовками и инструментом; управление программами ЧПУ; сбор и управление нарядами, диалог с оператором и выдача хронологических данных о ходе производственного процесса.

Управление гибкой производственной системой с помощью сопряжения с ЭВМ представлено на рис. 5.11.

Управление системой сопряженных гибких производственных систем состоит из автономных функциональных блоков, сопряженных при помощи местной сети (например, DECNET, SINECH1).

Управляющая ЭВМ выполняет все централизованные задачи: по координации и контролю ЭВМ ячеек и островов (SC-I, SC-II);



Рис. 5.12. Передача данных инструмента с помощью носителей данных

управлению внутренним транспортом заготовок (WTS); управлению снабжением инструментами (WVS); управлению централизованного движения материалов (MFS); управлению складом (LST); управлению централизованным контролем за качеством (QUW); по поддержке коммуникаций непосредственно с подключенными ЧПУ станками и между собой через общую сеть.

Такая функционально структурированная система сопряженных систем дает возможность для поэтапного расширения системы, начиная от отдельного станка или МОЦ, и до готовой сопряженной гибкой производственной системы.

Управляющая вычислительная машина (УВМ) устанавливает связь с системами управления производственными островами и производственными ячейками, а также с системами управления транспортом и складским хозяйством. УВМ координирует и контролирует автоматизированное производство и оказывает поддержку в организации производства. Ее функциями являются:

- непрерывная оптимизация управления производством и автоматическое программное управление процессом обработки с обратной связью;
- координирование и управление потоком материала и технологическими операциями;

- своевременная подготовка заготовок, зажимных приспособлений и инструментов;
- управление данными нарядов и размещение нарядов, программ ЧПУ, данных инструмента и данных приспособлений (рис. 5.12);
- сбор и анализ производственных данных;
- коммуникация с вышестоящими вычислительными устройствами.

Система управления передачи данных инструмента при помощи носителей данных и с программируемыми носителями данных представлена на рис. 5.12.

Программируемые носители данных на инструменте выгодны тем, что дают возможность для децентрализованного, сопровождающего инструмент на своем пути накопления информации.

Поправочные данные передают непосредственно из устройства предварительной установки инструмента. Передача данных на станке происходит автоматически при загрузке инструментов и производится бесконтактно с помощью записывающих и считывающих головок.

Недостатком является то, что каждую участвующую в обмене данными станцию надо оборудовать собственным блоком для печатания и считывания, а для каждого инструмента требуется собственный носитель данных. Поэтому издержки реализации такого решения значительны.

5.4. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОДУЛИ

Гибкий производственный модуль (ГПМ) является основной составной частью ГПС. ГПМ – это единица технологического оборудования, автономно функционирующая и автоматически осуществляющая весь цикл работ, связанный с изготовлением изделий и имеющая возможность быть встроенной в ГПС. Кроме обработки деталей, ГПМ выполняют в автоматическом режиме: накопление заготовок; загрузку заготовок в зону резания; выгрузку обработанных деталей, частичный или полный контроль точности обработки и другие вспомогательные операции. В типовой механообрабатывающий ГПМ входят многошпиндельный станок с ЧПУ и робот,

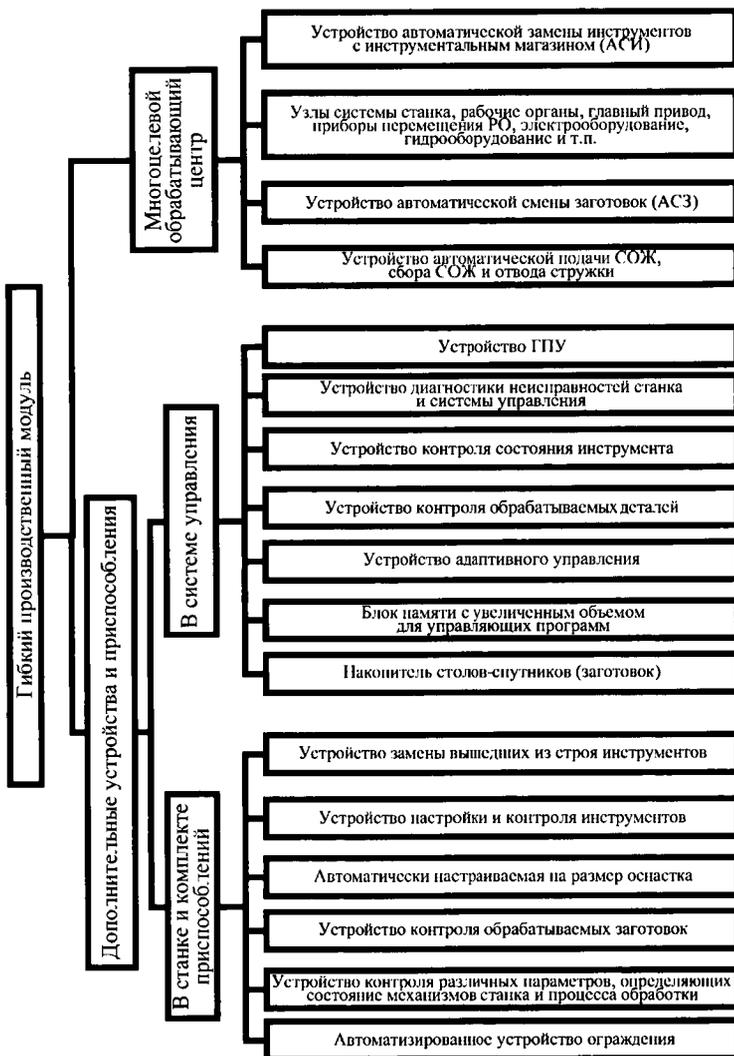


Рис. 5.13. Структура гибкого производственного модуля

управляемые от ЭВМ, накопитель заготовок и обработанных деталей и вспомогательные устройства (устройства для удаления стружки с базовых поверхностей, устройства для контроля износа инструмента и др.) [4].

Непеременным качеством модуля является возможность встраивания его в ГПС, вследствие чего он должен иметь стандартные сопрягающие устройства, позволяющие ему состыковываться с автоматизированной транспортно-складской системой (АТСС), с центральной управляющей ЭВМ, а также отдельными системами ЧПУ станков, роботов, самоходных тележек.

На рис. 5.13 представлена структура гибкого производственного модуля, в состав которого, помимо многоцелевого станка, осуществляющего обработку, входят дополнительные устройства для реализации следующих основных функций:

- автоматизации переналадки, осуществляемой в результате наличия устройства автоматической смены инструмента и заготовок с накопителями значительной емкости;
- самодиагностирования с помощью устройства ЧПУ, которое сообщает диагностическую информацию как от датчиков, расположенных на станке, так и всех компонентов самого управляющего устройства, и реагирует на нее заранее запланированными действиями, а также показывает возникшие аномалии;
- автоматизации контроля над технологическим процессом;
- контроля службы, износа или повреждения инструментов, точности обработки, нагрузки приводов рабочих органов и др.

5.4.1. Технические характеристики ГПМ

Технологические возможности и технический уровень ГПМ определяются: возможностью обработки, производительностью, точностью, надежностью, удобством обслуживания, массой заготовок, занимаемой площадью, оснащенностью системами обеспечения функционирования при работе в малолюдном режиме и возможностью стыковки с транспортными системами и другими станками, входящими в состав ГПС [4]. Большинство показателей определяется станочным оборудованием, используемым в ГПМ.

На рис. 5.14 приведены основные типы компоновок станков, входящих в ГПМ, предназначенных для обработки корпусных деталей. Стойка 1 с перемещаемой по ней шпиндельной бабкой 2 устанавливается либо неподвижно (см. рис. 5.14, а), либо перемещается по станине 3 (см. рис. 5.14, б). Поворотный стол 5 со спутником 6 может устанавливаться на подвижное (см. рис. 5.14, а) или неподвижное (см. рис. 5.14, б) основание. Если же стойка 1 с помощью промежуточных салазок 7 перемещается по двум взаимно перпендикулярным осям, то поворотный стол 5 выполняется неподвижным (см. рис. 5.14, в). При поворотно-наклонном столе 8

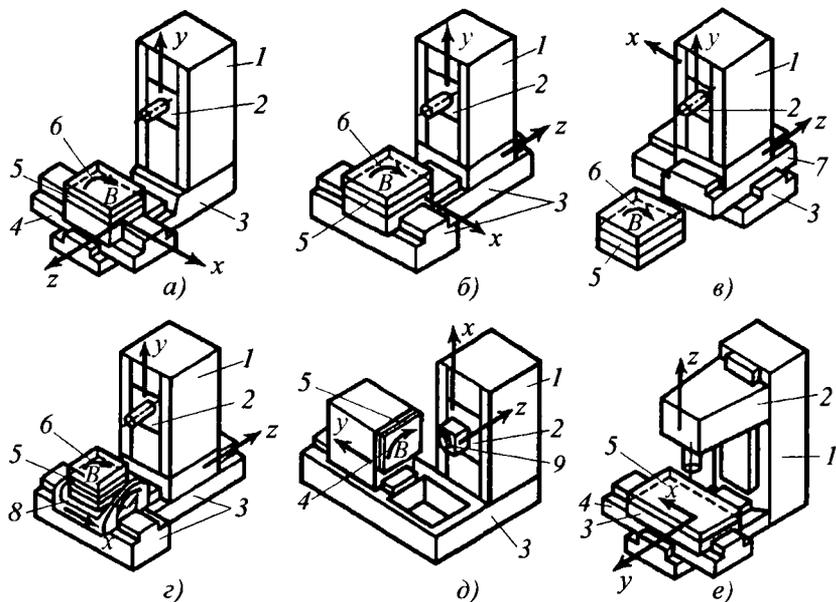


Рис. 5.14. Типы компоновок станков, входящих в ГПМ:

а – с неподвижной станиной; б – с подвижной станиной; в – с неподвижным поворотным столом; г – с поворотно-наклонным столом; д – с возможностью обработки корпусных деталей и тел вращения; е – с вертикальным расположением шпинделя; 1 – стойка; 2 – шпиндельная бабка; 3 – станина; 4 – крестовой стол (стол-спутник); 5 – поворотный стол; 6 – спутник; 7 – промежуточные салазки; 8 – поворотно-наклонный стол; 9 – выдвигной шпиндель

(см. рис. 5.14, *з*) на станке могут обрабатываться детали с пяти сторон и под различными углами. При компоновке по схеме (см. рис. 5.14, *д*) возможна обработка как корпусных деталей, так и деталей типа тел вращения. В станке предусмотрен выдвижной шпиндель 3 и стол 5, перемещающийся в направлении, перпендикулярном оси шпинделя. Такой модуль может использоваться для сверлильно-фрезерно-расточной обработки вращающимся инструментом и для токарной обработки заготовок, закрепленных на столе-спутнике 4 невращающимся инструментом (установленным в неподвижном для этого режима шпинделе 3). На вертикальном станке (см. рис. 5.14, *е*) при удлиненном столе 5, перемещающемся по крестовому столу 4, удобно обрабатывать протяженные заготовки произвольной формы (часто плоские). Основным размером (ширина стола) станков изменяется с коэффициентом 1,26; максимальная частота вращения шпинделей достигает $12\,000\text{ мин}^{-1}$ (для шпинделя с конусом 30) и 7000 мин^{-1} (конус 40), 5000 мин^{-1} (конус 50). Скорость быстрых перемещений рабочих органов составляет $10\dots 15\text{ м/мин}$, время смены заготовок $15\dots 20\text{ с}$ (средние станки).

Технологическое оборудование станков с ЧПУ, обрабатывающие центры (ОЦ), кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, сборочные и другие автоматические станки или линии вместе с устройствами накопления и подачи (съема) заготовок (деталей) – устройствами подачи соответствующего инструмента – составляют модули ГПС. Различные ГПС могут включать модули одного или разного технологического назначения. Анализ более 200 ГПС, внедренных в разных странах, показывает, что доля станков с ЧПУ в них составляет 90 % и только 10 % – специальные станки без ЧПУ. Центральное место занимают ОЦ для обработки корпусных деталей – 55 %, и *токарные обрабатывающие центры* (ТОЦ) для обработки тел вращения – 25 %.

В конструкциях ОЦ для встраивания в ГПС преобладает принцип неподвижности заготовки при ее обработке и осуществления подачи инструмента за счет перемещения шпиндельной головки и колонны станка; при этом обеспечивается большая гибкость и производительность за счет возможности многоинструментальной и многошпиндельной обработки, более коротких перемещений узлов станка и лучшего отвода стружки.

На ТОЦ выполняют переходы фрезерования пазов, плоскостей, скосов, сверления отверстий во фланцах и другие переходы, необходимые для завершения обработки деталей полностью на одном станке. Централизация обработки деталей на ОЦ побуждает включать выполнение на них таких видов обработки, как термообработка, сварка, напрессовка и других неметаллорежущих видов обработки, что еще больше расширяет технологические возможности станочного модуля.

ГПС позволяют найти и оптимальный путь решения полной обработки деталей в две операции включением ОЦ и ТОЦ в одну систему (рис. 5.15), связывая их роботом или другим гибким транспортом. Обработка деталей полностью на двух дополняющих друг друга станках не усложняет их технологические возможности, а повышает производительность, снижает стоимость, однако снижает и степень их гибкости.

При внедрении отдельных ГПС в условиях традиционного производства и при отсутствии автоматических складов-распределителей (складского модуля), а также малой надежности оборудования и системы управления ОЦ и ТОЦ не могут эффективно работать в автоматическом режиме без небольшого накопления заготовок. Поэтому их дополняют автоматическими накопителями и подающими заготовки устройствами, что, собственно, и перестраивает обычный ОЦ или ТОЦ в гибкий производственный модуль (ГПС). Для автоматической транспортировки и подачи заготовок на ОЦ используются палеты – это практически верхняя часть стола станка без привода движения, но с устройством их закрепления на салазках станка. Заготовку на палеты устанавливают обычно вручную на специальном участке вне зоны станка. При использовании ТОЦ заготовки накапливаются в магазинах или специальной таре и подаются на станок роботом. На рис. 5.16 показан ГПМ на базе станка ОЦ, на рис. 5.17 – на базе ТОЦ.

В настоящее время ОЦ для ГПС характеризуются традиционной компоновкой, но они оснащаются различными устройствами, повышающими их гибкость. Прежде всего это увеличение количества осей, по которым возможна обработка деталей по программе. Чем больше таких осей, тем выше степень гибкости. Однако это

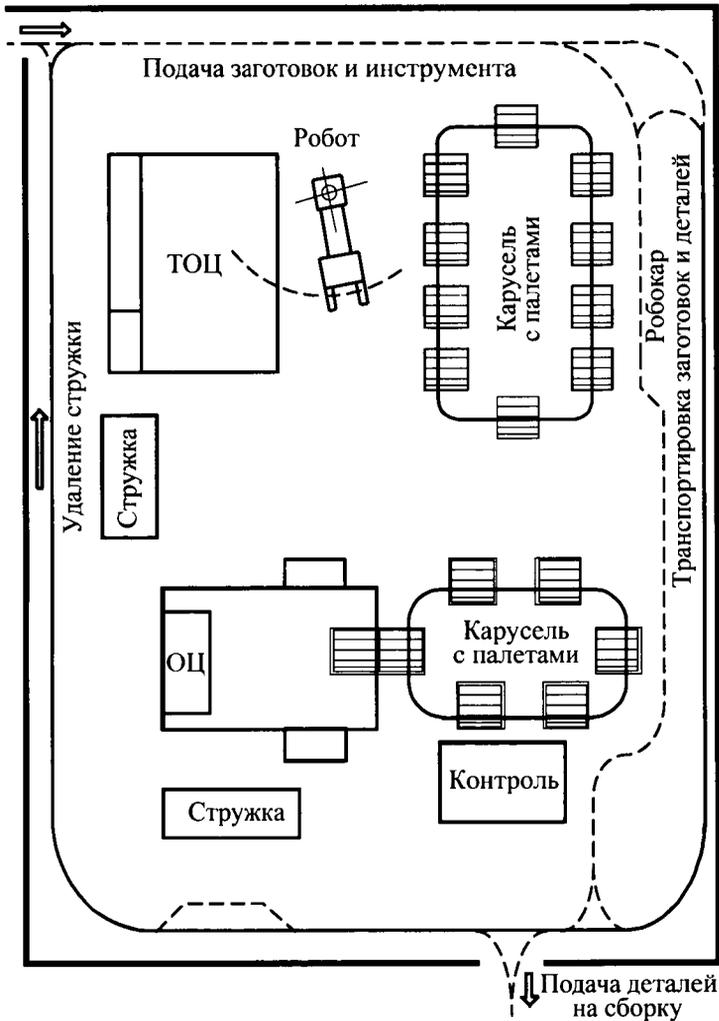


Рис. 5.15. Участок с ОЦ и ТОЦ для централизованной обработки деталей типа тел вращения и мелких плоских деталей

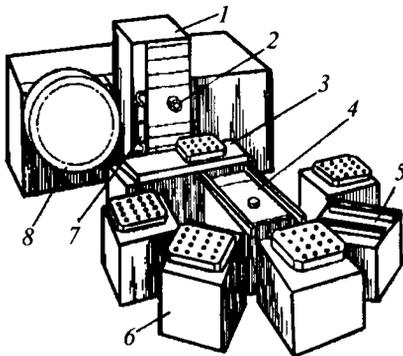


Рис. 5.16. Гибкий производственный модуль на базе ОЦ:

- 1 – колонна станка; 2 – шпиндель;
- 3 – стол станка; 4 – перегружатель;
- 5 – позиция для приема и съема палет с заготовками (детальями);
- 6 – неподвижные позиции накопителя;
- 7 – устройство для установки инструмента в шпиндель станка;
- 8 – автоматический магазин с инструментом

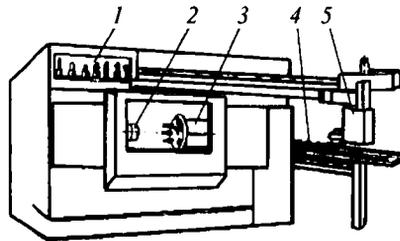


Рис. 5.17. Гибкий производственный модуль на базе ТОЦ:

- 1 – магазин с инструментом;
- 2 – шпиндель с патроном;
- 3 – револьверный барабан с инструментом;
- 4 – лоток с заготовками;
- 5 – робот для подачи заготовок и смены инструмента

весьма дорогой способ повышения гибкости ОЦ, и следует искать другие решения. Например, гибкость ОЦ можно повысить, используя специальную конструкцию шпиндельной головки, которая при повороте меняет положение главного шпинделя из вертикального в горизонтальное, или наоборот, что создает возможность обработки заготовки с одного установка с пяти сторон. Этого же можно достичь поворотом стола вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Поворот стола вокруг вертикальной оси позволяет обрабатывать заготовку с четырех сторон, а дополнительный поворот стола вокруг горизонтальной оси на 90° дает возможность обрабатывать заготовку и с пятой стороны.

Фактически стол на ОЦ для ГПС, в традиционном понимании плиты с Т-образными пазами для крепления заготовок, отсутствует. Стол превратился в рабочую зону, т.е. осталось все, но нет плиты,

которая заменяется съемной палетой. Дополнительно появились еще одни направляющие, на которые принимается и закрепляется палета с заготовкой. Устройства смены палет обеспечивают высокую точность их положения на станке (2 мкм) благодаря использованию конических центрирующих втулок или других фиксирующих устройств. На сменных палетах могут закрепляться заготовки массой в несколько тонн. Сменные палеты позволяют обеспечить автоматизацию загрузки и подавать детали (заготовки) на любой станок или со станка на станок, накапливать заготовки у станка и на автоматических складах. Однако они значительно повышают стоимость основного оборудования.

ОЦ для ГПС должны быть максимально приспособлены для автоматической загрузки (разгрузки) заготовок (деталей) на палетах. Установка заготовок на палетах позволяет полностью унифицировать загрузочные устройства.

При небольшом количестве палет с заготовками и их относительно малой массе применяют поворотные транспортно-накопительные устройства кругового типа, при большем количестве – палетного типа. Оба типа транспортно-накопительных устройств можно использовать для различных станков (в том числе и для ГПМ на основе токарных станков с ЧПУ).

Палеты с заготовками тяжелых деталей можно устанавливать на неподвижных позициях, расположенных, например, по окружности, в центре которой находится двухпозиционный поворотный перегрузочный стол.

Транспортно-накопительные устройства линейного типа изготавливают, как правило, для каждого конкретного ГПМ; они менее удобны с точки зрения компоновки и занимаемой площади при большом количестве палет с заготовками, однако позволяют легко встраивать ГПМ в гибкую производственную систему и расширять их емкость.

Причиной отказа от многоместных загрузочных устройств в ГПС является то, что они снижают гибкость системы в целом, вследствие снижения гибкости маршрута и ограничения выбора станков для обработки той или иной детали. Деталь в многоместном устройстве вынуждена ждать своей очереди и не может быть

передана для обработки на другой ОЦ. Идеальным является наличие у каждого ОЦ загрузочного устройства с двумя позициями: 1) для приема обработанной детали; 2) для подачи следующей детали незадолго до завершения обработки предыдущей детали. Это время может составлять несколько секунд и зависит от общей ситуации равномерного распределения деталей по станкам в ГПС. Такое устройство создает возможность, например, при отказе станка передать ожидающую деталь от вышедшего из строя станка на другой станок, если это требуется при сборке. Таким образом, достигается более высокая гибкость ГПС.

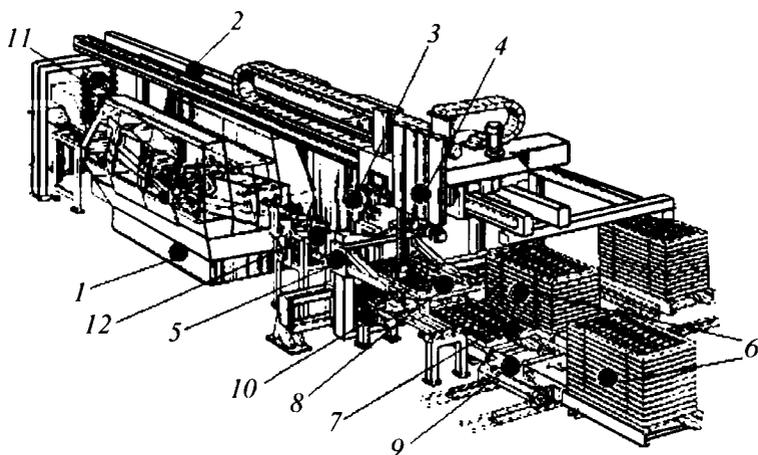
В целях экономии площади (до 30 %) накопительные приставочные устройства выполняют вертикального типа. Такие устройства легко наращиваются вверх, без увеличения занимаемой площади, как это имеет место при горизонтальных устройствах.

ТОЦ фирмы EMAG (Германия) построен на основе двухшпиндельного токарного станка 1 с ЧПУ мод. MSC22 (рис. 5.18). Портальный робот 2 имеет двухзахватное устройство 3 для смены затупившихся или сломанных инструментов из магазина 11 и четырехзахватное устройство 4 для съема готовых деталей со станка и укладки их в магазин на позиции 8, а также для захвата из магазина заготовок и установки их на станок.

Магазины соответственно с заготовками 6 и готовыми деталями 7 устанавливаются по несколько штук в блоки и транспортируются тележкой 9. Складывание в блоки магазинов по мере их заполнения готовыми деталями, а также подача магазинов с заготовками производятся специальными устройствами 5 и 10. Комплексный контроль готовых деталей (во время обработки заготовок) с последующим внесением необходимых коррекций в программу управления выполняется устройством 12. После смены затупившегося или сломанного инструмента новый инструмент проверяется специальным измерительным щупом, установленным в рабочей зоне станка, и в систему управления вводятся данные об его размерах и положении.

Техническая характеристика двухшпиндельного токарного станка мод. MSC22:

– расстояние между центрами шпинделей 370 мм;



**Рис. 5.18. Токарный обрабатывающий центр
фирмы EMAG (Германия):**

1 – двухшпиндельный токарный станок с ЧПУ модели MSC 22; 2 – порталный робот; 3 – двухзахватное устройство для смены инструмента; 4 – четырехзахватное устройство для установки заготовки и снятия деталей; 5, 10 – устройство соответственно для подачи магазинов с заготовками из блоков магазинов и установки магазинов с деталями в блоки; 6 – позиция для блоков магазинов с заготовками; 7 – позиция с заполненными деталями магазинов; 8 – позиция с магазином заготовок и накопителем готовых деталей; 9 – тележка; 11 – магазин с инструментом; 12 – позиция контроля деталей

- максимальный диаметр зажима в патроне 315 мм;
- поперечное и продольное перемещение суппортов соответственно 400 и 320 мм;
- привод главного движения мощностью 45 кВт на каждый шпиндель с диапазоном частот вращения $350 \dots 2800 \text{ мин}^{-1}$;
- максимальная скорость подачи суппортов 10 м/мин.

Гибкость станочного модуля в значительной мере зависит от количества и качества инструмента, находящегося на станке, и режима автоматического выбора и подачи его в шпиндель станка. Это связано не только с ростом технологических переходов при

увеличении разнообразия деталей, но и с необходимостью иметь инструменты-дублиеры для замены износившихся. На практике наблюдается тенденция увеличения количества инструмента на станке за счет развития инструментальных магазинов или установки на одном ОЦ двух и более магазинов, инструмент из которых может подаваться в шпиндель станка поочередно. Другая тенденция увеличения количества инструмента в распоряжении каждого ОЦ – это переход к централизованным магазинам-складам, обслуживающим все ОЦ системы одновременно. Из центральных складов инструмент по команде ОЦ заранее специальным транспортом, обычно верхним потолочным, подается в позицию ожидания на станке, чтобы своевременно быть готовым для подачи в шпиндель станка.

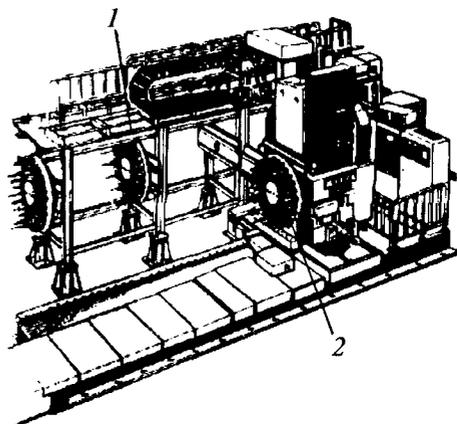
Возможны и комбинированные варианты, когда ОЦ имеет небольшой магазин с набором инструментов, работающих часто и короткое время, а остальные инструменты подаются из центрального магазина-склада. Некоторые конструкции ОЦ имеют устройства 1 смены инструментальных магазинов 2, когда для обработки отдельных деталей или групп деталей меняется весь магазин; при этом создается запас магазинов у станка (рис. 5.19). Такая организация доставки и смены инструмента на станках ГПС требует значительно большего запаса режущего инструмента, чем при централизованных магазинах-складах, которые, как правило, могут располагаться непосредственно на участке восстановления и настройки инструмента на размер и пополняться восстановленным инструментом.

В блочной конструкции ОЦ можно выделить следующие основные функциональные блоки:

- блок главного шпинделя, шпиндельной головки, главного привода и привода подачи шпиндельной головки;
- стол с направляющими для приема и закрепления палет, с приводами подач для перемещения палеты по двум осям координат, поворотом (индексацией) палеты вокруг своей оси и устройством, считывающим код палет;
- автоматическое многоместное устройство накопления заготовок и подачи заготовок на станок;

Рис. 5.19. Обработывающий центр модели YMS-30 фирмы "Мазак" (Япония) со сменой инструментальных магазинов:

1 – устройство смены инструментальных магазинов;
2 – инструментальный магазин



- сменный инструментальный магазин с устройствами для его автоматического приема и закрепления на колонне станка, для автоматической подачи инструмента в шпиндель станка и считывающим код инструмента;

- установка для смены многошпиндельных агрегатных головок на станке; к этому блоку следует отнести и узел закрепления сменных многошпиндельных агрегатных головок на колонне станка и устройство их подачи для установки на главном шпинделе станка;

- числовое программное управление, включающее мини-компьютер и микропроцессоры, командное устройство исполнительных органов станка;

- электроприводы вращения шпинделя подач и различных вспомогательных устройств; все электрооборудование;

- автоматическое устройство для измерения обрабатываемых размеров, включая датчики и командные устройства обратной связи, передающие необходимые коррекции в систему;

- устройства автоматического слежения за состоянием инструмента и автоматической диагностики, которые могут быть автономными;

- гидропривод и все гидроборудование станка;

- система подачи и рециркуляции охлаждающей жидкости; транспортер и мельница-дробилка для удаления стружки из зоны станка, включая различные щитки, направляющие стружку из зоны резания к мельнице и конвейеру.

Блочный принцип в конструировании АСУОЦ позволяет создавать необходимую гамму станков-модулей для ГПС.

5.5. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ КОМПОНОВКИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ И ГПС

При внедрении ГПС осуществляется автоматизация вспомогательных операций загрузки основного оборудования (станков, прессов, литейных машин, сварочных агрегатов и др.) материалом или заготовками перед их обработкой, а также снятия готовых изделий. Помимо ПР средствами автоматизации основного оборудования служат различные загрузочно-разгрузочные устройства типа лотков и шиберов, а также автооператоры или манипуляторы.

Состав и структура роботизированных комплексов определяется содержанием автоматизируемого производственного процесса, который характеризуется: типом и размерами обрабатываемых изделий; видом технологического оборудования; организацией его обслуживания; схемой потоков материала; инструментов и технологической оснастки; функциями управления.

5.5.1. Основные схемы планировки роботизированных технологических комплексов, используемых автономно или в составе ГПС

Первую группу с точки зрения планировки образуют *робототехнические комплексы* (РТК) с индивидуальным обслуживанием единицы технологического оборудования при помощи одного или нескольких ПР. Данная группа РТК имеет три основных варианта конструктивного исполнения ПР: встроенного в технологическое оборудование; установленного рядом с технологическим оборудованием в его рабочей зоне; установленных в рабочей зоне техноло-

гического оборудования нескольких ПР. Во всех вариантах РТК данной группы заготовки (исходный материал) перед передачей их роботом в зону обработки предварительно подаются на фиксированную промежуточную позицию, обслуживаемую автоматизированными загрузочно-разгрузочными устройствами типа тактового стола или шагового конвейера-накопителя.

Примером РТК первой группы является комплекс для токарной обработки заготовок типа тел вращения (рис. 5.20). Промышленный робот производит загрузку станка с позиции выдачи заготовок из вибробункера, куда они поступают в ориентированном виде. Обработанные детали сбрасываются в тару через лоток. ПР конструктивно встроен в станок.

Вторую группу планировочных схем образуют роботизированные технологические линии (РТЛ) и участки (РТУ) с групповым обслуживанием оборудования одним или несколькими ПР. РТЛ предполагают обслуживание одним или несколькими ПР группы оборудования в принятой технологической последовательности выполняемых операций. На РТУ при обслуживании

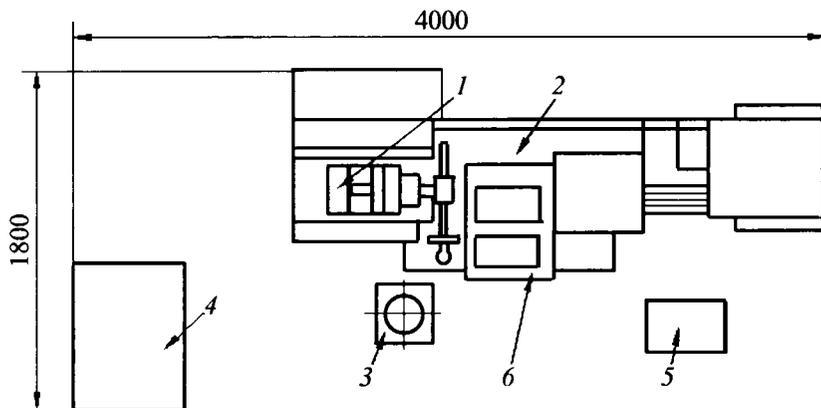


Рис. 5.20. Комплекс для токарной обработки заготовок типа тел вращения:

1 – ПР «Ритм 0,1»; 2 – токарный станок мод. 1И611ПМФЗ с ЧПУ;
3 – вибробункер; 4, 5 – устройства ЧПУ и ПР; 6 – тара для деталей

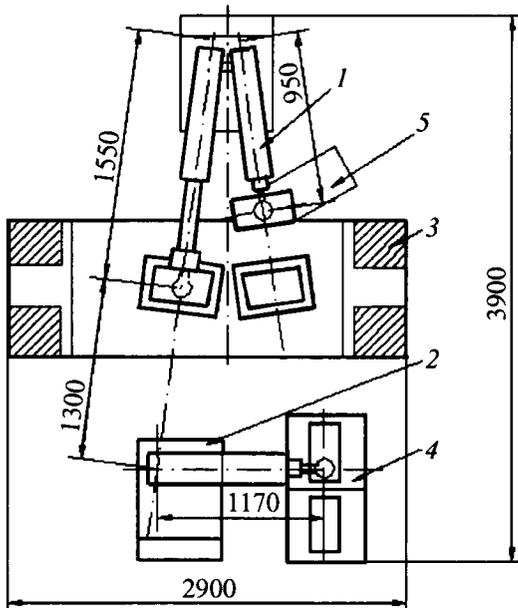


Рис. 5.21. Роботизированная технологическая линия для холодной штамповки мелких деталей:

1 – ПР мод. РПГ-1 (двухрукий); *2* – ПР РПГ-1 (однорукий); *3* – пресс мод. Д160/2000; *4* – накопитель магазинного типа; *5* – тара

оборудования одним или несколькими ПР предусмотрена возможность изменения последовательности выполнения технологических операций. РТЛ и РТУ могут включать в себя несколько РТК, связанных между собой транспортными средствами и единой автоматизированной системой управления. По характеру расположения оборудования схемы планировки РТЛ и РТУ можно разделить на два варианта: с круговым и линейным (последовательным или параллельно-последовательным) расположением оборудования.

На рис. 5.21 показана схема планировки роботизированной технологической линии для холодной штамповки мелких деталей. Два робота последовательно выполняют следующие операции: подачу одноруким ПР штучных заготовок из магазинного накопителя в штамп прессы; перенос одной рукой двухрукого ПР готового изделия из штампа в тару, а другой рукой – заготовки из штампа вытяжки в чеканочный штамп прессы. Промышленные роботы напольного типа выполнены с одной и двумя руками унифицированной конструкции.

Другим примером является роботизированная технологическая линия для обработки заготовок типа валов последовательно на фрезерно-центровальном и двух токарных станках с ЧПУ (рис. 5.22). Робот в составе РТЛ выполняет следующие операции: загрузку станков заготовками; снятие заготовок и их межстаночное транспортирование с установкой на промежуточную позицию; поиск заготовок и раскладку готовых деталей в магазине. ПР портального типа перемещается по монорельсу, установленному над технологическим оборудованием, которое расставлено в линию.

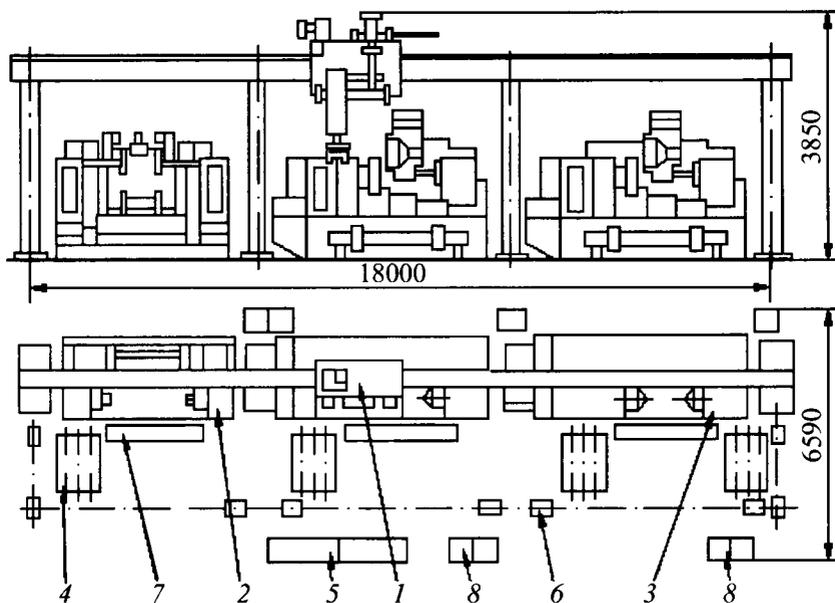


Рис. 5.22. Роботизированная технологическая линия для обработки заготовок типа валов:

1 – ПР мод. УМ160Ф2.81.01; 2 – фрезерно-центровальный станок мод. МР73М; 3 – токарный станок с ЧПУ мод. 1740РФ3; 4 – магазин заготовок или деталей; 5 – устройство ЧПУ ПР; 6 – система светозащиты линии ограждения; 7 – промежуточная позиция; 8 – устройство ЧПУ станка

На рис. 5.23 приведена схема планировки роботизированного технологического участка для обработки заготовок типа валов на трех токарных станках с ЧПУ при последовательном или последовательно-параллельном выполнении операций. ПР в составе участка выполняет следующие операции: загрузку и разгрузку станков; снятие заготовки с одной из трех позиций накопителя; транспортирование заготовок к станкам, а готовых деталей – от станков на конвейер. ПР напольного типа однорукого исполнения работает в цилиндрической системе координат.

Схема планировки роботизированного технологического участка для комплексной обработки заготовок типа дисков и фланцев на трех токарных станках с ЧПУ, объединенных в два роботизированных комплекса, приведена на рис. 5.24. Первый РТК состоит из

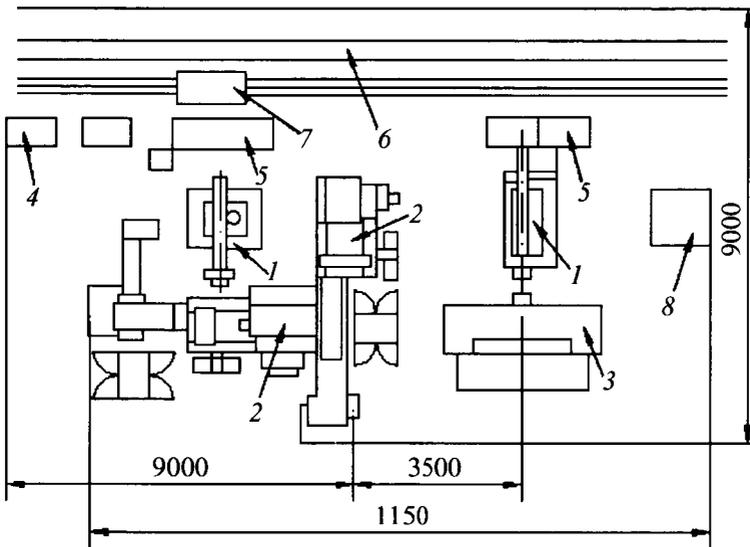


Рис. 5.23. Роботизированный технологический участок для обработки заготовок типа валов:

- 1 – ПР мод. РБ-211 (НРБ); 2 – токарный станок с ЧПУ мод. СЕ062.10; 3 – токарный станок мод. АТМ ЗБ001.10; 4 – приемная станция; 5 – накопитель столов-спутников; 6 – автоматизированный склад; 7 – кран-штабелер; 8 – позиция контроля деталей

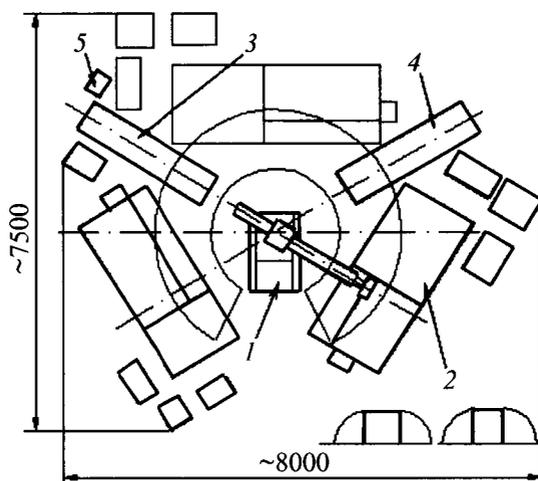


Рис. 5.24. Роботизированный технологический участок для комплексной обработки заготовок типа дисков и фланцев:

1 – ПР мод. PRO-30 (ЧССР); 2 – токарный станок с ЧПУ мод. 1725Ф3; 3 – накопитель трехпозиционный; 4 – конвейер-накопитель деталей; 5 – устройство управления участком

двух токарных станков мод. SE062.10 и обслуживающих их ПР, а второй РТК – из станка мод. АТМ РБ001.01 и ПР. Робот в составе каждого РТК осуществляет загрузку и разгрузку станков заготовками, подаваемыми из склада на столах-спутниках. ПР напольного типа и работают в цилиндрической системе координат.

Третью группу (с точки зрения планировки) составляют РТК для выполнения основных технологических операций (сварки, сборки, термообработки, окраски и других). Возможны варианты РТК с индивидуальным выполнением ПР одной законченной технологической операции или перехода, а также с групповым выполнением операции несколькими ПР одного или различных технологических назначений. Схема робототехнического комплекса для нанесения керамических эмалей на детали путем автоматического распыления их пистолетом в специальной камере приведена на рис. 5.25. Два ПР напольного типа, работающие в сферической

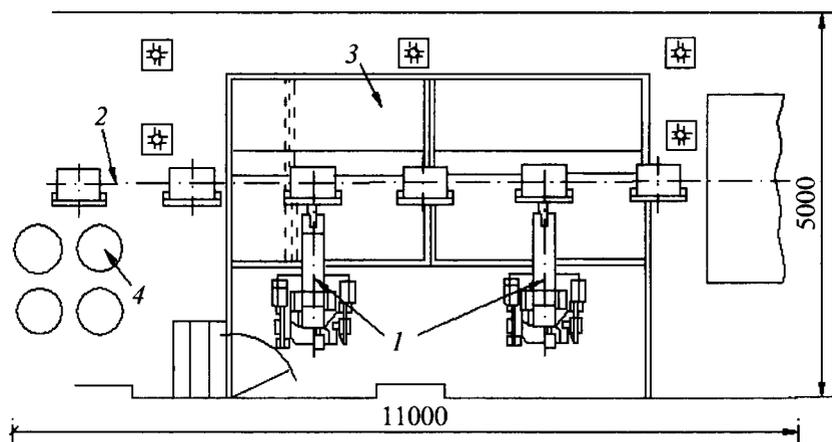


Рис. 5.25. Робототехнический комплекс для нанесения керамических эмалей:

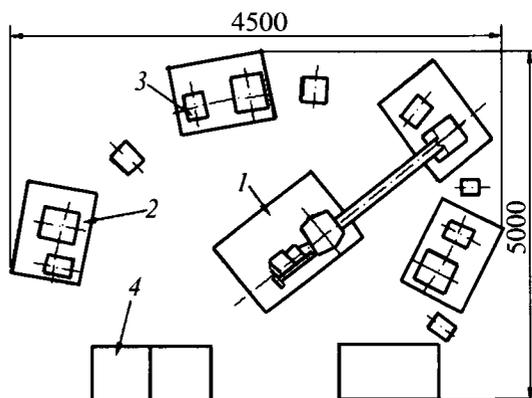
1 – ПР мод. PR-32 (ЧССР); *2* – конвейер подвешного типа; *3* – камера распыления эмали; *4* – резервуар керамических эмалей

системе координат, выполняют технологические операции нанесения эмали. Детали перемещаются шаговым конвейером на подвесках, обеспечивающих их равномерное вращение в камере.

На рис. 5.26 показана схема планировки роботизированной технологической линии для обработки комплектов магнитопроводов для трансформаторов и дросселей из деталей, подаваемых в таре в ориентированном виде. Передвижной ПР напольного типа, работающий в цилиндрической системе координат, последовательно выбирает детали комплекта из каждой тары и укладывает их на монтажный стол, оснащенный шаблоном. После укладки в шаблон необходимого числа деталей ПР перемещается к следующему монтажному столу, где происходит сборка очередного комплекта. Обслуживание монтажных столов роботом осуществляется в заданной последовательности. Отдельную группу составляют транспортные роботизированные комплексы.

Рис. 5.26. Роботизированная технологическая линия для обработки комплектов магнитопроводов для трансформаторов и дросселей:

1 – ПР мод. РБ-231 (НРБ);
2 – стол монтажный с шаблоном; 3 – тара с деталями; 4 – устройство управления ПР



5.5.2. Схемы планировки ГПС для механообработки в соответствии с типом применяемых АТСС

Дальнейшее повышение уровня автоматизации машиностроительного производства приводит к созданию *гибких производственных модулей* (ГПМ), включающих в себя автоматизированную единицу технологического оборудования или *робототехнический комплекс* (РТК) для изготовления изделий определенного вида с возможностью изменения в заданном диапазоне их типоразмерных характеристик. В ГПМ дополнительно обеспечиваются автоматическое измерение и контроль качества изготавливаемых изделий, диагностика состояния инструментов, механизмов и устройств самого оборудования, а также автоматическая подналадка технологического процесса и автоматизированная переналадка оборудования на изготовление другого типоразмера изделия. Таким образом, ГПМ можно рассматривать как разновидность РТК с более высоким уровнем автоматизации всех вспомогательных, контрольно-измерительных и диагностических операций, с элементами адаптивного управления.

Объединяя в определенных сочетаниях РТК, ГПМ, отдельные единицы технологического оборудования, автоматизированные складские, транспортные и накопительные устройства, создают различные варианты ГПС: *гибкие автоматизированные участки* (ГАУ) и *гибкие автоматизированные линии* (ГАЛ). Гибкие произ-

водственные участки и линии, работающие в автоматическом режиме в течение заданного времени (например, одной смены), обеспечивают комплексную обработку исходного материала или заготовок с возможностью автоматизированной переналадки на производство изделий широкой номенклатуры.

Схемы планировки ГПС классифицированы в зависимости от типа *автоматизированных транспортно-складских систем* (АТСС) и других взаимосвязанных автоматизированных систем: инструментального обеспечения, очистки (мойки) изделий, техоснастки, контроля геометрических и других параметров изделий, удаления отходов производства, которые на схемах представлены в виде соответствующих технологических участков. ГАУ с АТСС линейного типа на базе кранов-штабелеров и напольного транспортного роликового конвейера могут быть с поперечным односторонним (рис. 5.27) или двусторонним (рис. 5.28) расположением технологического оборудования.

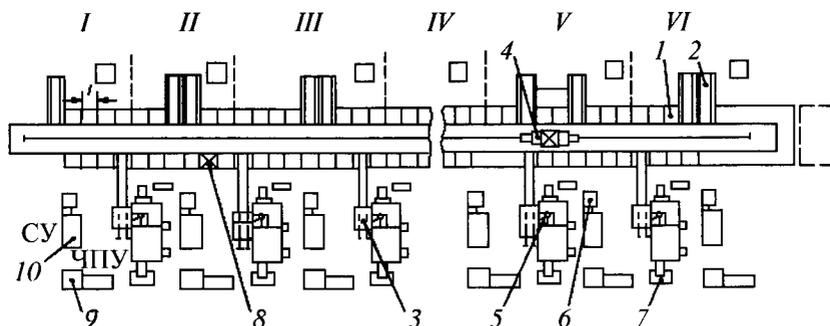


Рис. 5.27. ГАУ с АТСС линейного типа, с поперечным расположением оборудования и роликовым конвейером:

I – склад-стеллаж; *2* – конвейер роликовый унифицированный; *3* – стол подъемно-передвижной; *4* – кран-штабелер; *5* – гибкий производственный модуль токарной обработки; *6* – пульт оператора; *7* – тележка с тарой для стружки; *8* – тара унифицированная (ящичная); *9* – система управления ГПС (АСУ РТК); *10* – электрошкаф (СУ); *I* – участок загрузки склада; *II* – участок комплектации; *III* – участок подготовки инструментальных комплектов; *IV* – участок мойки и сушки; *V* – участок технического контроля; *VI* – участок загрузки склада

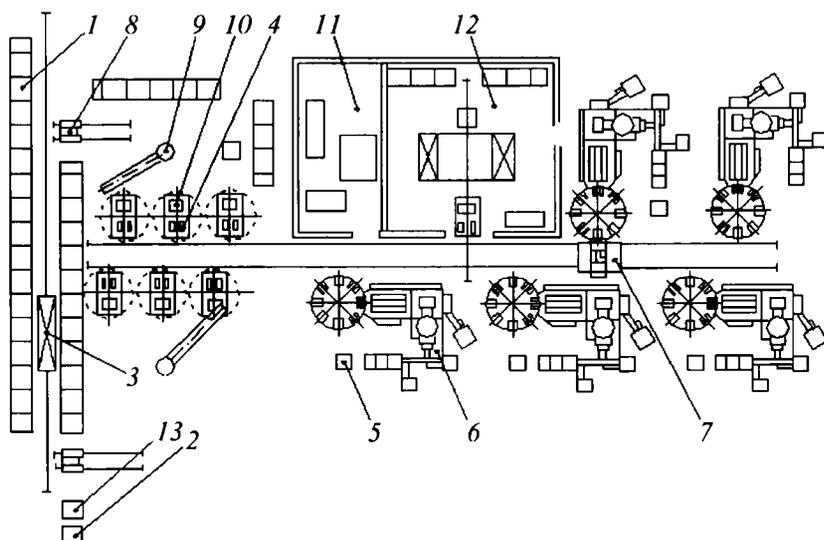


Рис. 5.28. ГАУ с АТСС линейного типа, с поперечным расположением оборудования и рельсовой транспортной тележкой:
 1 – склад-стеллаж автоматизированный; 2 – стойка системы связи с АСУ ГАЦ; 3 – кран-штабелер; 4 – участок технического контроля; 5 – стойка АСУ ГПМ; 6 – ГПМ мод. ИР500ПМ1Ф4; 7 – тележка транспортная; 8 – стол транспортный приводной; 9 – манипулятор; 10 – стол поворотный; 11 – участок настройки инструмента; 12 – участок промывки и сушки; 13 – стойка АСУ склада с краном-штабелером

Тара или столы-спутники с заготовками, деталями, инструментами и технологической оснасткой проходят через участки комплектации и технического контроля на участки загрузки склада. Кран-штабелер забирает тару с приемного стола и устанавливает ее в свободную ячейку склада-стеллажа. Система управления ГАУ отыскивает тару с необходимыми заготовками в ячейках склада и передает команду крану-штабелеру, который снимает данную тару и устанавливает на приемное устройство конвейера, передающего ее в накопитель у станка. Затем кран-штабелер забирает тару с обработанными на станке деталями и устанавливает ее

в свободную ячейку склада либо направляет тару на приемные столы участков технического контроля, комплектации и переналадки. Перегрузка заготовок из тары на станки осуществляется промышленными роботами, манипуляторами или другими грузозачерпывающими устройствами в составе РТК и ГПМ данного участка.

При использовании в качестве транспортного средства роботизированных тележек АТСС гибких автоматизированных участков могут строиться по линейной (рис. 5.29) или кольцевой схемам. Кольцевые схемы планировки ГАУ создают условия для многорядной расстановки технологического оборудования, обычно выполняемой в поперечном по отношению к оси склада-стеллажа направлении.

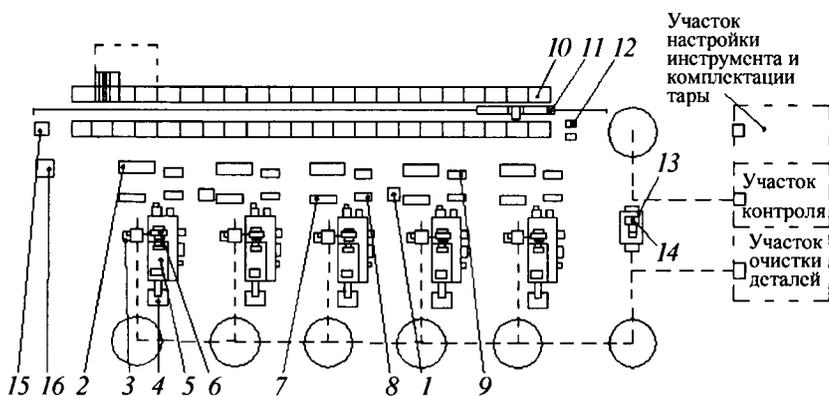


Рис. 5.29. ГАУ и АТСС линейного типа и транспортным роботом для токарной обработки:

1 – стойка АСУ РТК; 2 – шкаф с электроавтоматикой; 3 – приемный стол промышленного робота; 4 – тележка с тарой для стружки; 5 – токарный станок с ЧПУ; 6 – промышленный робот; 7 – устройство ЧПУ; 8 – установка насосная; 9 – шкаф с трансформатором; 10 – стеллажи склада; 11 – кран-штабелер; 12 – приемный стол склада; 13 – транспортный робот; 14 – тара; 15 – стойка АСУ склада с краном-штабелером; 16 – стойка системы связи с АСУ ГАЦ

5.5.3. Серийные автоматизированные системы "Талка"

Гибкие производственные системы "Талка" выпускаются серийно Ивановским станкостроительным производственным объединением имени 50-летия СССР на базе обрабатывающих центров "Модуль-500" (Талка-500), "Модуль-800" (Талка-800) или "Модуль-500 и 800" (Талка 500-800). В эти ГПС могут включаться также обрабатывающие центры со сменой многошпиндельных коробок: модуль "Блок-центр ИР800" и модуль "Агрегат-центр ИР800". Станки этих ГПС обслуживаются складом-накопителем и рельсовой транспортной системой ТС-500, которые также выпускаются серийно, или безрельсовой тележкой с индуктивным управлением производства фирмы "Валмет" (Финляндия).

На рис. 5.30 представлена план-схема ГПС типа "Талка 500-800". Данные ГПС предназначены для обработки корпусных деталей из поковок, отливок или сварных конструкций из любых конструкционных материалов размерами, ограниченными призмой

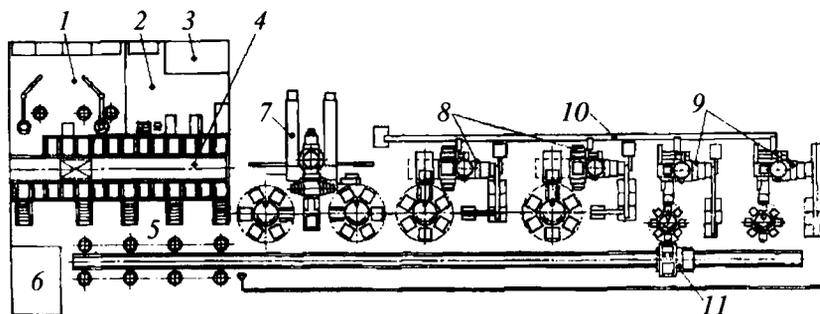


Рис. 5.30. План-схема ГПС типа "Талка 500-800":

- 1 – участок сборки установочных приспособлений; 2 – участок комплектации и настройки инструментов; 3 – элеваторный склад инструментов; 4 – автоматический склад-штабелер; 5 – станции загрузки; 6 – управляющая ЭВМ; 7 – модуль "Блок-центр ИР800"; 8 – ОЦ "Модуль-800"; 9 – ОЦ "Модуль-500"; 10 – центральная система удаления стружки; 11 – транспортная система ТС-500

со сторонами 500×500×800 мм (ОЦ "Модуль-500") и 800×700×1000 мм (ОЦ "Модуль-800") и массой до 700 и 1500 кг соответственно. Обработка от заготовки до готовой детали производится в автоматическом режиме с управлением от центральной ЭВМ. Обрабатывающие центры оснащены инструментальными магазинами на 30 инструментов, устройствами автоматической смены палет, шести- и восьмиместными накопителями роторного типа; предусмотрена возможность автоматической замены инструмента в магазинах обрабатывающих центров (ОЦ). Детали обрабатываются с пяти сторон за один установ. Встраивание ОЦ со сменой многошпиндельных головок увеличивает производительность благодаря многоинструментальной обработке.

Транспортная система ТС-500 имеет рельсовую тележку, перемещающуюся автоматически вдоль накопителей ОЦ, четыре станции загрузки палет с заготовками и их разгрузки и две инструментальные станции загрузки-разгрузки. Транспортная система позволяет компоновать участок как с последовательным, так и параллельным расположением станков. Заготовки на палеты устанавливаются оператором вручную на станциях загрузки (разгрузки). Рельсовая тележка доставляет к станкам комплекты режущего инструмента в специальных поворачивающихся барабанах, из которых инструмент автоматически перегружается в магазины станков, заменяя использованный комплект инструмента.

Отделение подготовки производства имеет:

- участок сборки установочных приспособлений со специальными стендами и стеллажами-магазинами элементов приспособлений;
- участок комплектации и настройки режущего инструмента с приборами для настройки инструмента типа БВ2010 и элеваторным складом инструмента;
- автоматизированный склад со штабелером для хранения заготовок, палет, собранных установочных приспособлений;
- рольганги, доставляющие заготовки и палеты к автоматизированному складу;
- станции загрузки на рельсовую тележку.

Система управления имеет специализированный комплекс на базе ЭВМ типа СМ-2, осуществляющий переработку, хранение и обмен информацией, и математическое программное обеспечение, необходимое для функционирования системы («диалог» станков с ЭВМ, транспортной системой, контроль поверхностей в процессе обработки с введением коррекции, контроль износа и поломки режущего инструмента, адаптивное управление процессом обработки и др.).

Опыт создания и эксплуатации ГПС типа "Талка 500-800" показал целесообразность создания гаммы серийных станков типа ОЦ, максимально отвечающих требованиям использования их в ГПС.

Основное преимущество серийных ГПС – их компоновка на различный объем выпуска меняющейся номенклатуры корпусных деталей и в обеспечении быстрого ввода новых автоматизированных производств путем тиражирования основного и вспомогательного оборудования и управления.

Контрольные вопросы

1. Опишите схему программного управления ГАП и ГПС. Что она обеспечивает?
2. Опишите структуру управляющей ЭВМ.
3. Дайте определение программных средств и их назначение.
4. Назовите состав исполнительного комплекса ГАП.
5. Какие функции осуществляет система управления ГАП и как они реализованы?
6. Назовите типы и назначение используемых ЭВМ.

Глава 6

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

6.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ КОНТРОЛЯ

Система автоматического контроля (САК) в гибких автоматизированных производствах является важнейшим звеном, определяющим возможность безлюдного производственного процесса в ГАП [5, 7, 11, 16, 18]. Система автоматического контроля ГАП решает следующие задачи:

- получение и представление информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном расположении контролируемых объектов, а также о состоянии технологической среды и производственных условий;
- сравнение фактических значений параметров с заданными;
- передача информации о рассогласованиях с моделями производственного процесса для принятия решения на различных уровнях управления ГАП;
- получение и представление информации об исполнении функции.

САК должна обеспечивать:

- возможность автоматической перестройки средств контроля в пределах заданной номенклатуры контролируемых объектов;
- соответствие динамических характеристик САК динамическим свойствам контролируемых объектов;
- полноту и достоверность контроля, в том числе контроля преобразования и передачи информации;
- надежность контроля.

Классификация видов контроля в ГАП представлена в табл. 6.1.

6.1. Классификация видов контроля в ГАП

Признак классификации	Вид контроля
Цель контроля	Качество продукции работоспособности оборудования
Решаемая задача	Приемочный. Профилактический. Прогнозирующий
Взаимодействие с объектом	Активный: прямой, косвенный. Пассивный: после начатой операции, после нескольких операций. Параметрический: количественный, допусковый, функциональный
Конструктивное исполнение	Внутренний (самоконтроль). Внешний
Реализация по времени	Непрерывный (в процессе функционирования). Периодический (тестовый)

Система автоматического контроля пронизывает все элементы ГАП и их связи (материальные и информационные потоки), обеспечивая достоверность информации, используемой в системе управления. Схема потоков контрольно-измерительной информации представлена на рис. 6.1.

Как видно из рис. 6.1, САК является связующим звеном между ячейками ГАП, обеспечивающими системами и системой управления.

Обобщенный алгоритм контроля можно представить в виде, показанном на рис. 6.2.

6.2. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Типовая структура САК ГАП (рис. 6.3) включает три уровня.

Верхний уровень обеспечивает общий контроль совокупности автоматических ячеек для координации их взаимодействия, перенастройки и ремонта, выдачу информации на пульт управления ГАП и решение задач:

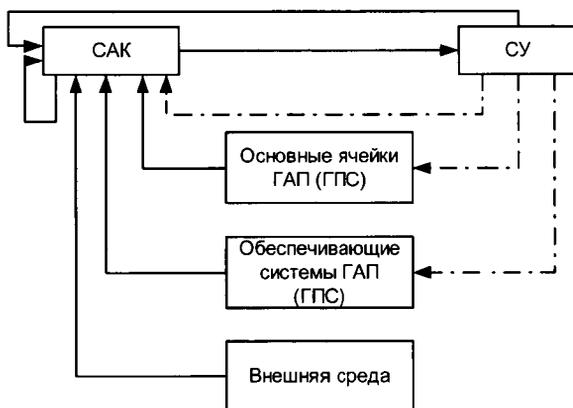


Рис 6.1. Схема потоков контрольно-измерительной информации:

— контрольно-измерительная информация —>;

- - - - - управляющие воздействия - - - - ->



Рис. 6.2. Обобщенный алгоритм контроля параметров

- получения, обработки и обобщения информации, поступающей с нижестоящего уровня (от автоматических ячеек);

- контроля объема и качества продукции и материально-технического обеспечения (материала, инструмента и др.);

- контроля за исполнением совокупности операций, выполняемых автоматической ячейкой;

- самоконтроля и контроля функционирования нижестоящего уровня.

Средний уровень обеспечивает контроль автоматической ячейки и представление на верхний уровень обобщенной информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном расположении контролируемых объектов и составных частей ячейки. При этом решаются следующие задачи:

- получение и обработка информации о контролируемых параметрах объекта, параметрах

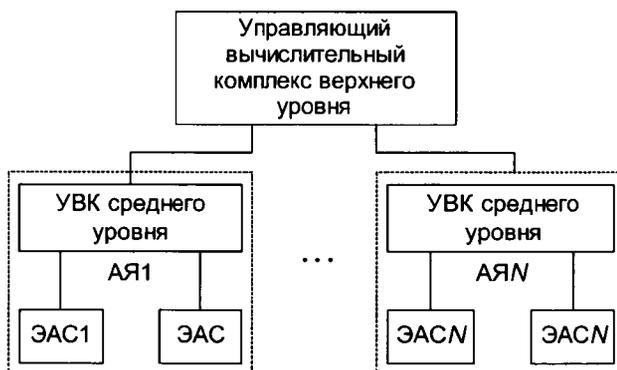


Рис. 6.3. Типовая структура системы автоматического контроля:
ЭАЯ – элементарная автоматическая ячейка

функционирования ячейки и ее элементов, параметров технологической среды;

- передача информации на верхний уровень;
- контроль качества изготовления объекта обработки на элементарных автоматических системах, входящих в ячейку;
- контроль за исполнением операций;
- самоконтроль и контроль функционирования нижестоящего уровня.

Нижний уровень обеспечивает контроль объектов обработки, технического состояния и пространственного расположения составных частей элементарной автоматической системы (станка с ЧПУ, робота автоматического средства контроля). На этом уровне САК решает задачи:

- получение и обработка информации о контролируемых параметрах и функциях объекта обработки и составных частей элементарной автоматической системы (ЭАС);
- передача информации на средний уровень;
- контроль за исполнением переходов;
- контроль функционирования составных частей ЭАС;
- представление информации в систему технического обслуживания для прогнозирования постепенных отказов инструмента и оборудования.

Контроль обеспечивающих систем распределен по разным уровням в зависимости от конкретных условий с учетом выполнения общего принципа построения САК – максимальной обработки и замкнутости на управление по нижнему уровню.

Сформулированные цели и задачи САК позволяют установить объекты и средства контроля для каждого уровня. Так, объектом контроля верхнего уровня является совокупность типовых автоматических ячеек (обрабатывающей, транспортной, складской, контрольно-измерительной, испытательной) и рабочее место оператора, а средством контроля – управляющий вычислительный комплекс (УВК) на базе мини-ЭВМ.

Объектом среднего уровня служит автоматическая ячейка, состоящая из совокупности элементарных автоматических систем ОАО, а средством контроля – УВК на базе мини- или микроЭВМ. В состав УВК входят: ЭВМ, средства сопряжения с удаленными терминалами и локальной сетью ЭВМ, средства повышения надежности функционирования и т.д.

Объектом нижнего уровня являются: составные части ЭАС, управляющий орган, передаточное звено, исполнительный орган, объект обработки. Средства контроля на нижнем уровне определяются спецификой компонентов ЭАС. Для металлообрабатывающего станка ими могут быть датчики касания и усилия резания, для робота – датчики позиционирования, для транспортного робота – путевой датчик, для контроля технической среды – датчики температуры, давления, влажности, биологических загрязнений и т.д. Средства управления ЭАС строятся на базе микроЭВМ или микропроцессоров и содержат дополнительно к ранее перечисленному составу УВК средства сопряжения с датчиками и исполнительными механизмами. Объекты и средства контроля ЭАС образуют соответствующие подсистемы автоматического контроля. Основная задача построения САК заключается в распределении функций контроля между уровнями и в оптимизации состава средств контроля на нижнем уровне. При этом следует стремиться к тому, чтобы на нижнем уровне САК обеспечивалась максимально возможная автономность управления по результатам контроля.

Объем контроля распределяется между средством и объемом обработки в ЭАС, с одной стороны, и между взаимодействующими по объекту обработки элементарными автоматическими системами – с другой стороны.

Например, объект обработки можно контролировать путем измерения как его параметров (размеров и формы заготовки в обработке резанием, толщины покрытия в гальванических покрытиях, размеров кристалла в автоматических процессах его выращивания и т.д.), так и параметров средства обработки (износа сверла, резца или фрезы; концентрации, состава и температуры электролита и времени осаждения; температурного режима роста кристалла и т.д.). Параметры измерения могут быть разнесены во времени и пространстве: одну часть параметров контролируют в зоне обработки, другую – роботом манипулятором, третью – на транспортном роботе. Можно разделить контроль между обрабатываемыми ячейками, при этом пооперационный контроль параметров изделия строят по *принципу недоверия* (перепроверки) или *принципу доверия*.

В первом случае – принцип недоверия – возможны три варианта: 1) входной контроль на последующей ячейке по всем параметрам предыдущей; 2) входной контроль на последующей ячейке по части параметров, контролировавшихся раньше; 3) распределенный контроль – полный набор контролируемых параметров делится между средствами контроля, расположенными на предыдущей и входе последующей ячеек. Во втором случае – принцип доверия и контроль последующей ячейки исключается.

Для ГАП более приемлемым является принцип доверия. Обработка технологического процесса должна быть направлена на внедрение именно этого принципа, а система контроля и диагностики призвана обеспечить решение следующей, более сложной задачи: оптимальное сокращение контрольных операций вообще. На нижнем уровне оптимизация сводится к минимеханизации средств контроля для компонентов ЭАС на основании надежности компонентов ЭАС, статистики дефектов, цены отказов и общих затрат на контроль. Исходя из этих же условий, предусматриваются меры по обеспечению надежности средств контроля САК. Они

реализуются за счет периодических проверок средств контроля либо введения дополнительных средств для самоконтроля.

САК может функционировать в пяти режимах:

- 1) запуск;
- 2) рабочий (номинальный);
- 3) наладочный (перестройки);
- 4) плановый останов;
- 5) аварийный.

Режим запуска начинают с опроса всех элементов и систем ГАП. При этом проводят диагностику их технического состояния, дают команду на выход всех систем в начальное положение, контролируют исполнение этой команды, проверяют наличие и коды инструментов и заготовок. В процессе проверки система обеспечивает устранение выявленных неисправностей. В режиме запуска задействованы все уровни контроля: на нижнем уровне системы определяются значения параметров и функции контролируемых компонентов ЭАС. Информация о техническом состоянии и пространственном расположении компонентов ЭАС передается в управляющую микроЭВМ ЭАС. Эта информация служит основой для принятия решений о техническом состоянии средств обработки и годности объекта обработки. Техническое состояние самой микроЭВМ контролируется ЭВМ среднего уровня. ЭВМ среднего уровня подвергается периодическому самоконтролю по сигналам центральной ЭВМ и передает ей информацию о своем техническом состоянии. ЭВМ верхнего уровня подвергается периодическому самоконтролю и принимает решение о режиме функционирования САК по информации от автоматических ячеек.

В рабочем (номинальном) режиме САК обеспечивает контроль за качеством изготовления продукции, потоками изделий, инструментов, энергии, информации, функционирования вспомогательных систем (очистка от стружки, промывка, охлаждение, транспортировка стружки, подача охлаждающей жидкости, смазки и т.д.), периодически контролирует техническое состояние всех элементов и систем ГАП.

В наладочном режиме (режиме перенастройки) управляющая информация поступает на ЭВМ верхнего уровня. Последняя при-

нимает решение о реконфигурации системы контроля на среднем и нижнем уровнях.

ЭВМ нижнего уровня устанавливает совокупность контролируемых параметров и функций объектов обработки, а также нормы контроля.

Режим планового останова – специфический режим функционирования ГАП, призванный обеспечить последующий запуск не с нулевого (начального) момента работы системы, а с момента ее останова. Обычно в данном режиме предусматривается:

- завершение операции обработки на станках;
- снятие и отправка деталей на накопители или склады;
- разгрузка и приведение роботов-автооператоров и штабелеров в исходное положение;
- запись состояния ГАП на носитель, отключение всех видов энергоносителей и всех пультов.

Задача САК при этом состоит в контроле обработки сигналов управления. Кроме того, в этом режиме можно осуществить диагностику систем и выдать диспетчеру информацию для наладчиков и ремонтников.

Аварийный режим инспектируется любым уровнем САК. На нижнем уровне он порождается превышением допустимого брака, отклонением от нормы параметров ЭАС либо самих средств контроля. Сигнал об аварийном состоянии каждого из уровней передается на более высокий уровень и отображается на пульте управления ГАП.

Основным условием обеспечения функционирования всех систем и ГАП в целом является соответствующее *программное обеспечение* (ПО). ПО САК состоит из двух частей: 1) по контролю за ходом процесса изготовления на конкретном рабочем месте; 2) системы контроля в целом как подсистемы управления. ПО выполняет следующие функции:

- автоматический сбор информации о фактическом выпуске деталей на контролируемом оборудовании;
- автоматический учет простоев оборудования дифференцирования по причинам;
- документированный вызов ремонтных служб цеха;

- выдачу оперативной информации о ходе производства автоматическую обработку результатов приемочного контроля;
- выдачу контролеру сообщений об уровне контроля.

Для реализации этих функций разрабатывают комплекс программ:

- формирование нормативно-справочных массивов;
- начальный пуск системы;
- контроль работы оборудования в реальном масштабе времени и оперативный контроль хода производства;
- контроль за качеством изготовления детали;
- приемочный контроль;
- обработка и вывод на носитель результатов работы системы по сменам.

Программы состоят из одного или нескольких модулей (подпрограмм). Программы системы контроля реализуются устройствами станка и микроЭВМ ячейки, часть информации (учетная) передается в основную управляющую систему. Программное обеспечение системы контроля предусматривает использование специальных программ, которые перед запуском системы в работу по тестам проверяют работоспособность технических средств.

Выбор аппаратурных средств САК в первую очередь зависит от тех параметров, которые необходимо измерить в ГАП при контроле как качества продукции, так и функционирования системы. Основой для выбора этих средств и построения всей системы контроля в целом является разработка технологического процесса измерений, сопровождающего технологический процесс изделий.

Укрупненно этапы технологического процесса измерений в его взаимосвязи с основными этапами производства (и компонентами ГАП) представлены на рис. 6.4.

Технической базой для создания автоматических систем контроля в промышленности является ГСП (*государственная система приборов*). В настоящее время ГСП охватывает лишь часть необходимых для измерения величин, но она постоянно совершенствуется как по номенклатуре и техническим характеристикам, так и по углублению уровня унификации и обеспечению всех видов совместимости.



Рис. 6.4. Этапы взаимодействия процесса измерений в его взаимосвязи с основными этапами производства

Структура измеряемых и регулируемых величин ГСП представлена на рис. 6.5.

В основу построения и развития ГСП положены следующие принципы:

- возможность сведения многообразия функций автоматического контроля, регулирования и управления к ограниченному числу функций;
- минимизация номенклатуры технических средств при условии максимального удовлетворения потребностей на основе агрегатных комплексов технических устройств и параметрических рядов приборов;
- построение технических средств на основе типовых унифицированных блоков и модулей;
- агрегатное построение сложных систем управления на основе унифицированных блоков и модулей;
- совместимость приборов и устройств ГСП при работе (на основе конструктивной, информационной, эксплуатационной и метрологической совместимости).

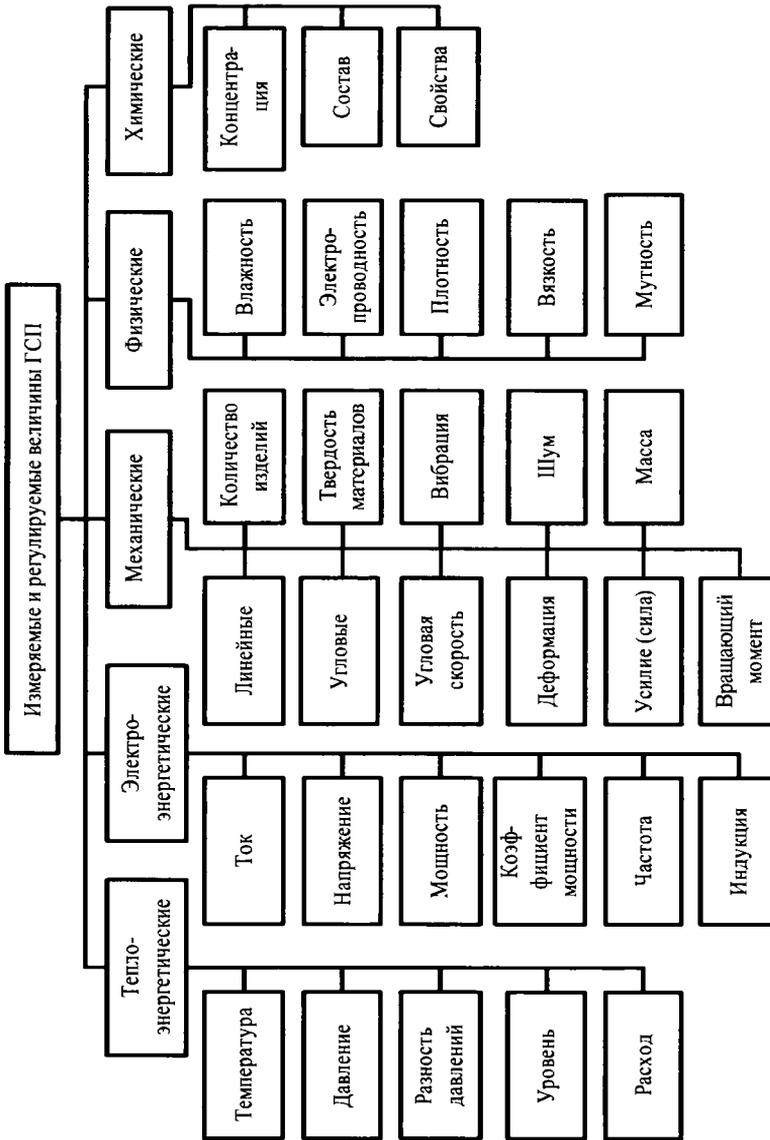


Рис. 6.5. Структура измеряемых и регулируемых величин ГСП

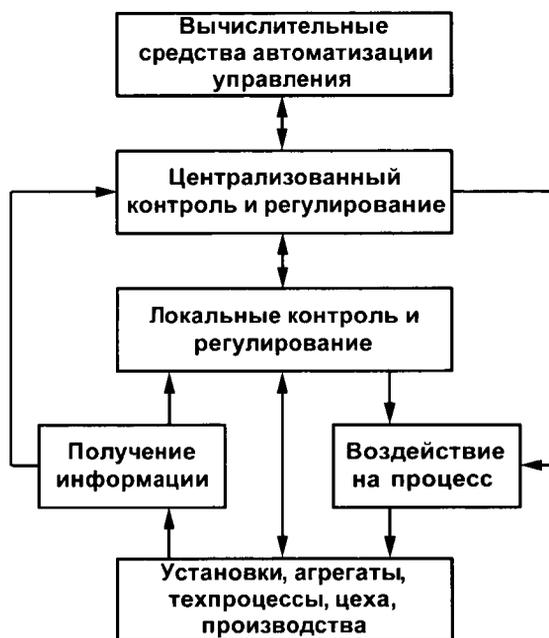


Рис. 6.6. Структурная схема ГСП

Номенклатура технических средств ГСП (рис. 6.6) в настоящее время насчитывает свыше 2000 типов изделий, из них 30 % составляют измерительные преобразователи (датчики различных физических величин).

Широкое использование датчиков в *информационно-измерительных системах* (ИИС), управляемых ЭВМ, привело к значительному изменению требований к ним.

Наряду с точностью, быстродействием, помехоустойчивостью, существенное значение приобрели требования к технологичности и совместимости датчиков, в том числе к согласованию их выходов с входными устройствами ИИС.

Спецификой применения датчиков в САК ГАП является необходимость оптимального комплексирования различных типов сенсорных устройств, изыскания путей управления задачи получения

информации о внешней среде путем специальной организации этой среды (маркировка объекта, их освещенность и т.д.) и наиболее полного использования предварительной информации о ней.

6.3. ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

Технические средства контроля включают в себя измерительные преобразователи, аналого-цифровые преобразователи, сенсорные подсистемы технического зрения, автоматические тестеры и координатные измерительные машины.

Измерительные преобразователи являются первичными носителями информации и составляют важнейший класс устройств контроля. Измерительный преобразователь – это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, ее дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но без непосредственного восприятия наблюдателем. К измерительным преобразователям относятся *датчики*. Датчик состоит из первичного и вторичного преобразователей. *Первичный преобразователь* преобразует измеряемую величину в электрический выходной сигнал. *Вторичный преобразователь* преобразует выходной сигнал первичного преобразователя в сигнал стандартного диапазона выхода датчика.

В зависимости от конкретных условий эксплуатации к датчикам предъявляются самые различные требования, основными из которых являются следующие:

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- высокая чувствительность;
- стабильность характеристик во времени;
- соответствие динамических характеристик условиям измерений;
- технологичность конструкции;
- удобство монтажа и обслуживания.

Условная классификация датчиков приведена на рис. 6.7.

По способности восприятия информации на различных расстояниях от ее источника датчики делятся на контактные и бесконтактные.

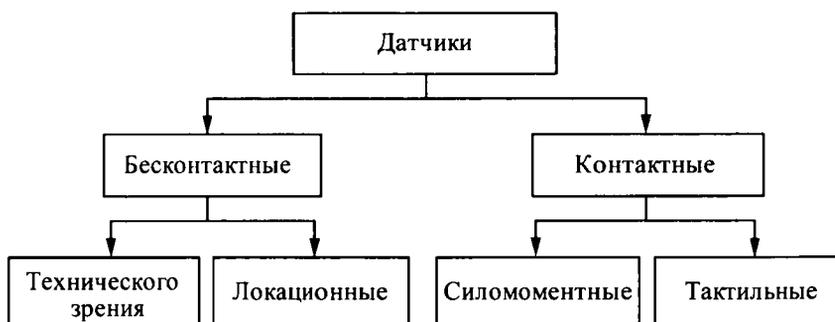


Рис. 6.7. Условная классификация датчиков

Бесконтактные датчики позволяют определять в основном геометрические характеристики объектов с помощью технического зрения и локации.

Контактные датчики измеряют действующие силы и моменты, а также фиксируют координаты точек их положения посредством силомоментных и тактильных методов измерения.

Техническое зрение используется в промышленности на операциях распознавания и сортировки деталей, взятия деталей из навала, измерения координат движущихся деталей, определения ориентации деталей на сборочных и других участках производства, а также на операциях контроля качества деталей.

Локационные датчики используются для измерения в случае нецелесообразности или невозможности применения технического зрения. Например, эффективна установка локационных датчиков в захвате промышленного робота для слежения сварочной головкой за траекторией шва. Использование локационных датчиков в качестве датчиков безопасности позволяет предотвращать столкновение подвижных частей технологического оборудования с предметами и людьми, случайно оказавшимися в рабочей зоне. Многообразие типов локационных датчиков представлено на рис. 6.8.

Силовые моменты датчики применяются при выполнении механической сборки, абразивной зачистки и шлифовки изделий, т.е. в случаях, когда в процессе выполнения технологической операции необходимо измерять силы и моменты.

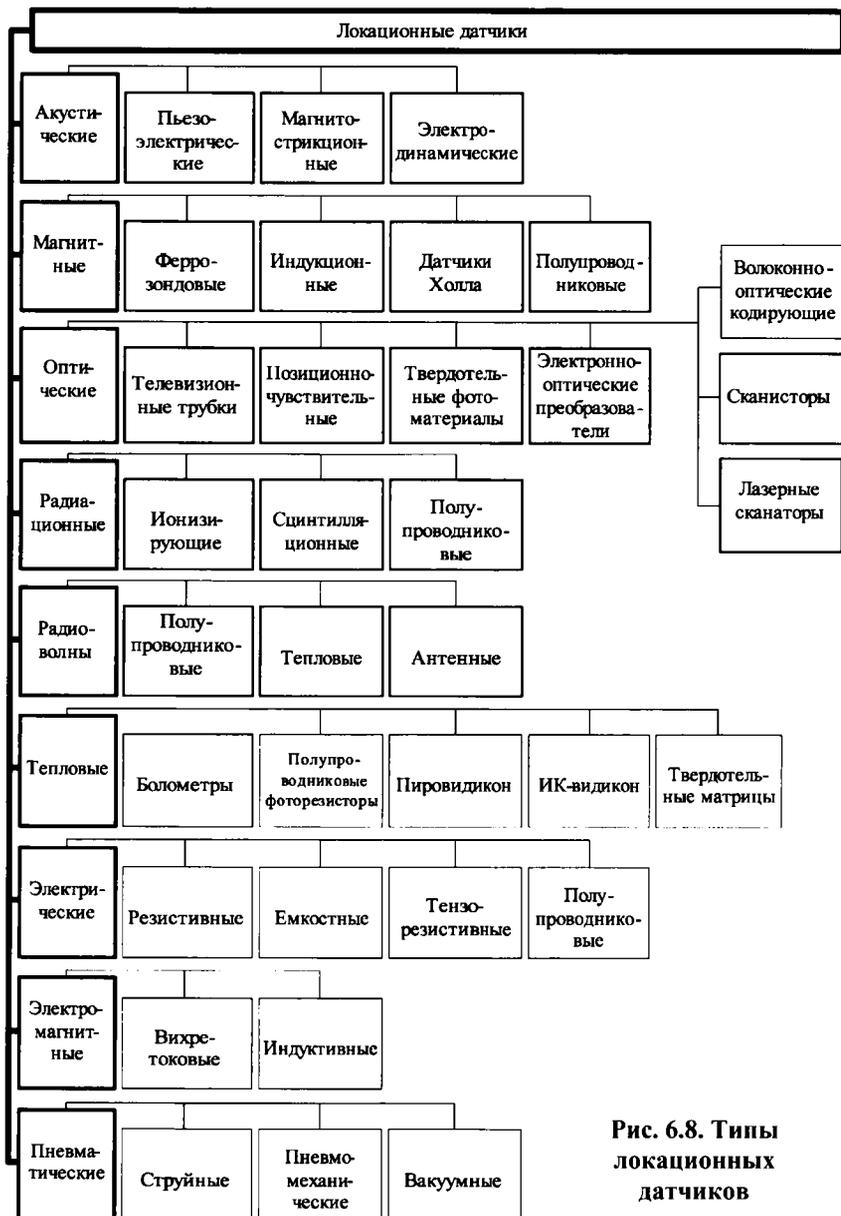


Рис. 6.8. Типы локационных датчиков



Тактильные датчики целесообразно использовать при поиске объектов, идентификации и определении их пространственного расположения, для обнаружения проскальзывания детали и при регулировании усилия захватывания детали (например, в захватном устройстве промышленного робота).

Схема датчика определения направления и величины проскальзывания детали приведена на рис. 6.9.

Схема включает свободно вращающийся зубчатый шар, который отклоняет тонкий стержень, установленный на оси проводящего диска. Под диском равномерно расположены электрические контакты. Вращение шара, вызванное проскальзыванием по нему объекта, приводит к вибрации стержня и диска с частотой, пропорциональной частоте вращения шара. От направления вращения зависит, какой контакт будет задействован вибрирующим диском. Усредненное направление проскальзывания определяется по импульсам в соответствующих выходных электрических контурах.

Если контактное усилие не вызывает смещений и деформаций контролируемого объекта, то применяются щуповые методы контроля размеров и формы изделий. Измерительные щупы могут быть выполнены в виде как одиночных щупов для контроля по одной координате, так и трехкоординатных измерительных головок или головок со сменными щупами для контроля сложнопрофильных изделий.

Точечные электронные щупы позволяют проводить измерение, не останавливая движение измерительной головки, причем многопозиционные точечные щупы с гнездами для сменяемых наконечников могут контролировать все грани детали без изменения направления щупа.

Электронные щупы для непрерывного сканирования осуществляют точное непрерывное измерение геометрических линий и поверхностей в трехмерном пространстве. Они позволяют повысить динамические характеристики измерительной машины

На рис. 6.10 изображен внешний вид электронного щупа непрерывного сканирования.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) – это вид технических средств контроля, обеспечивающий преобразование аналоговых сигналов, поступающих с датчиков, в эквивалентные значения цифрового кода для последующей обработки.

К основным элементам аналоговой части АЦП относятся операционные усилители, компараторы напряжения, схемы выборки и хранения, а также аналоговые ключи и коммутаторы, которые используются для коммутации аналоговых сигналов между источником и нагрузкой. Цифровая часть, реализуемая на логических комбинационных схемах, сдвиговых регистрах, счетчиках и других

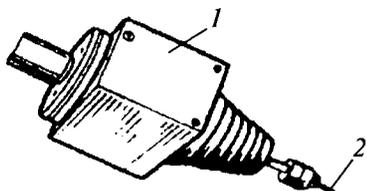


Рис. 6.10. Электронный щуп непрерывного сканирования:
1 – корпус с преобразователем;
2 – измерительный наконечник

элементах, выполняет функции кодирования, запоминания, сравнения, сдвига и сложения цифровой информации.

Аналого-цифровые преобразования делятся на последовательные, параллельные и последовательно-параллельные. Способы преобразования в АЦП определяют достижимые значения их основных параметров, в частности таких, как время преобразования и число разрядов.

Сенсорные системы технического зрения представляют собой терминальные подсистемы предварительной обработки видеoinформации, которые могут взаимодействовать через стандартные линии связи с ЭВМ верхнего уровня. Они являются универсальным средством для решения широкого круга задач контроля качества, идентификации и обеспечения управления, в частности сборочными операциями.

Характерным примером структурной реализации системы технического зрения является схема, приведенная на рис. 6.11.

В качестве рецепторных блоков используются несколько видеокамер, каждая из которых управляется платой аналогового интерфейса путем сравнения с пороговым уровнем для преобразования изображения в цифровое отображение. После сжатия по критерию значимости информация анализируется центральным процессорным блоком.

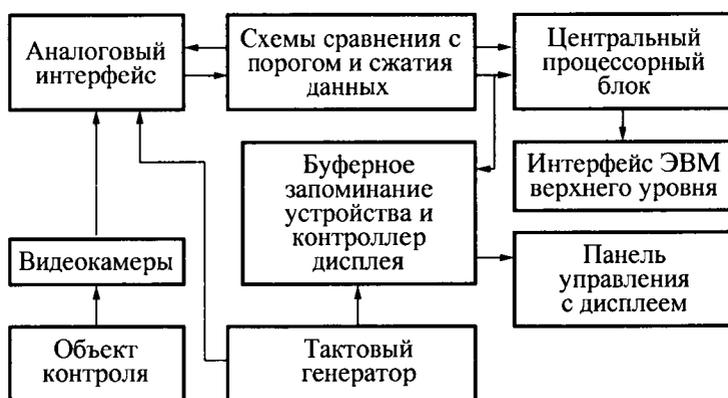


Рис. 6.11. Схема системы технического зрения

Подсистемы технического зрения способны идентифицировать детали на движущемся конвейере, распознавать ориентацию деталей и выделять перекрывающиеся детали. В процессе распознавания процессор рассчитывает параметры объекта и сравнивает их с данными, сформированными на этапе обучения.

Автоматические тестеры (АТЕ) – это автоматические контрольно-измерительные комплексы, в которых основной метод контроля заключается в подаче с помощью ЭВМ, являющейся внешней по отношению к контролируемому объекту, тестирующих воздействий с контролем путем сравнения с заранее заданным значением ответных реакций контролируемого объекта. В радиопромышленности, например, АТЕ используются для контроля интегральных схем и печатных узлов. Типовая секция формирования тестовых воздействий для АТЕ имеет в своем составе программируемые источники питания, генераторы и схемы коммутируемой подачи сигналов на тестируемый объект.

В состав измерительной части АТЕ обычно входят цифровые мультипликаторы, счетчики-таймеры и коммутируемые схемы приема выходных сигналов с тестируемого объекта. Как правило, все перечисленные устройства в блочном исполнении комплектуются ЭВМ. Конкретный состав блоков, их технические характеристики, возможности коммутации и перепрограммирования зависят от типа контролируемых объектов, а также от вида контроля. В составе АТЕ могут быть использованы внешние интерфейсы для включения АТЕ в локальную вычислительную сеть.

Координатные измерительные машины (КИМ) – это автоматическое средство высокоточных измерений, обладающее универсальной техникой программирования. Они могут не только измерять типовые поверхности, но и определять систему координат положения различных специальных поверхностей относительно базовых. Универсальные КИМ позволяют контролировать параметры корпусных деталей, валов, рычагов, втулок и других изделий, поверхности которых образуют плоскости, цилиндры, конусы, сферы, а также линии пересечения различных поверхностей. При этом результаты измерений представляются в виде отпечатанных протоколов аттестации или оперативных сообщений на

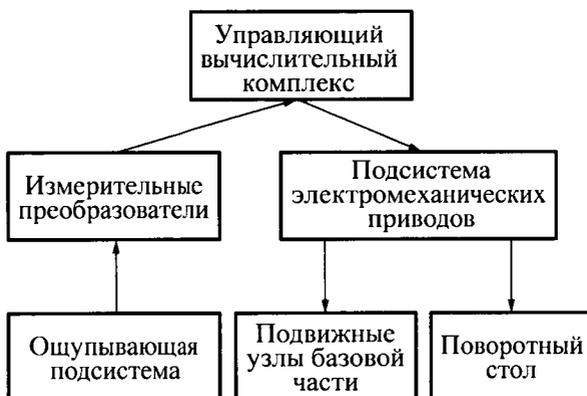


Рис. 6.12. Обобщенная схема КИМ

средствах отображения буквенно-цифровой и графической информации. Одновременно эти данные могут накапливаться в ЭВМ для последующей статистической обработки.

Обобщенная схема КИМ дана на рис. 6.12.

Координаты точек детали, измеряемой с помощью прямолинейных перемещений измерительных головок ощупывающей подсистемы, измеряются в декартовой системе координат. При этом начало координат выбирается свободно, а направления осей должны совпадать с направлениями перемещения подвижных узлов базовой части КИМ, несущих измерительные головки или измеряемую деталь.

С помощью встраиваемых поворотных столов можно обеспечить увеличение числа координатных перемещений за счет поворота измеряемой детали относительно координатных осей. Перемещения реализуются обычно подсистемой электромеханических приводов, а автоматическое считывание значений перемещений – измерительными преобразователями индукционного и фотоэлектрического типов. Вся обработка результатов измерения осуществляется управляющим вычислительным комплексом, в состав которого, кроме ЭВМ, стандартных периферийных устройств и блока управления электроприводами входят нормирующие и другие необходимые виды преобразователей. К основным задачам обра-

ботки измерений относятся: определение координат центров измерительных наконечников, формирование системы координат измеряемой детали и сравнение обработанных результатов измерений с эталонными данными.

На базе универсальных измерительных машин и унифицированных измерительных систем отдельных параметров изделий создаются контрольно-измерительные ячейки. Их использование позволяет повысить технико-экономические показатели САК при выходном контроле сложных изделий, например сверхбольших интегральных схем.

При выносном контроле, обеспечиваемом *контрольно-измерительными ячейками*, широкое распространение получили измерительные машины для контроля линейных размеров, формы и взаимного расположения плоскостей. В измерительных ячейках, осуществляющих послеоперационный контроль, целесообразно использовать *измерительные роботы*, предназначенные для встраивания в технологические линии. Такие роботы имеют манипуляторы, перемещающиеся относительно станины, и обладают высокими динамическими возможностями. Для повышения точности в них применяют компенсацию возможных ошибок программным способом по параметрам эталонной детали, записанным в памяти робота.

Контрольные вопросы

1. Назначение системы автоматического контроля ГАП.
2. Какой является типовая структура САК ГАП?
3. Представьте классификацию видов контроля в ГАП.
4. Назовите режимы функционирования САК. Как они работают?
5. Приведите основные этапы технологического процесса измерений в его взаимосвязи с производством.
6. Какие измеряемые и регулируемые величины рассматриваются в государственной системе приборов?

Глава 7

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

7.1. ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

В основу классификации средств механизации и автоматизации листовой штамповки положено их функциональное назначение. Они подразделяются на загрузочные, подающие, удаляющие и вспомогательные. Загрузочные и подающие устройства разделены (в зависимости от вида обрабатываемого материала) на устройства для загрузки (подачи) непрерывного материала, полос и штучных заготовок. К удаляющим устройствам отнесены устройства для удаления обработанного материала и для удаления отштампованных деталей. Вспомогательные средства разделены на устройства: для передачи заготовки с прессы на пресс; для установки и съема штампов; для очистки и смазки. Дальнейшее деление каждой группы загрузочных, подающих, удаляющих и вспомогательных устройств произведено в зависимости от их конструкторских признаков.

Автоматизация и механизация листоштамповочных работ в несколько раз увеличивает производительность труда, а также обеспечивает безопасность работы на прессах. Выбор необходимых средств автоматизации и механизации листовой штамповки выполняют в зависимости от конкретных условий и характера производства на основе экономической целесообразности [3, 5, 11, 13, 17].

Все средства механизации и автоматизации состоят из ряда узлов и механизмов, функционально связанных между собой. На рис. 7.1 показана обобщенная структурная схема средств автоматизации листоштамповочного производства.

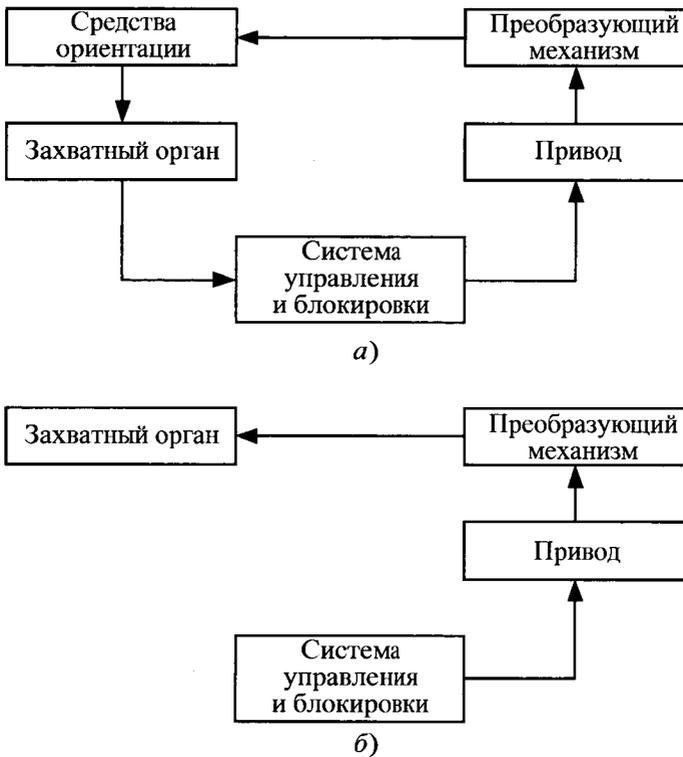


Рис. 7.1. Замкнутая (а) и разомкнутая (б) схемы средств автоматизации листоштамповочного производства

Захватный орган средств автоматизации и механизации листоштамповочного производства предназначен для захвата и надежного удержания во время транспортировки заготовок, полуфабрикатов и изделий. Привод средств автоматизации обеспечивает требуемое движение захватного органа с деталью (заготовкой) или без нее. Схема, структура, кинематические и динамические свойства преобразующих механизмов чрезвычайно разнообразны. По назначению эти механизмы используют для преобразования движения ведомого звена привода в соответствующее перемещение захватного органа, а также в качестве усилителей. Система

управления и блокировки обеспечивает включение привода, связывает работу захватного органа с работой привода, предотвращает поломки элементов средств автоматизации, штампов, оборудования при нечеткой или неправильной работе захватного органа в опасной зоне. Введение средств ориентации и переориентации в автоматизирующие устройства вызвано необходимостью четкой фиксации заготовки в заданном положении при подаче ее в рабочую зону. Их применяют в средствах автоматизации, предназначенных для автоматической ориентации заготовок и для их транспортировки между переходами.

В настоящее время совершенствование листоштамповочного оборудования и технологической оснастки для процессов штамповки создало необходимые условия для комплексной механизации штамповочного производства на базе ПР, манипуляторов и других автоматических устройств. Из общего парка роботов, находящихся в эксплуатации в России и за рубежом, наибольшее число приходится на ПР, применяемые в процессах обработки металлов давлением. В табл. 7.1 показано распределение ПР по видам производств (%).

7.1. Распределение ПР в различных странах по видам производств, %

Виды производства	Россия	США	Япония	Страны Западной Европы
Холодно-штамповочное	35	30	25	25
Механообрабатывающее	25	20	30	25
Сварочное	4	20	10	12
Литейное	8	2	1	1
Термическое	2	10	8	15
Сборочное	3	3	6	5

Конструктивно ПР состоит из следующих основных частей:

- исполнительной – в виде манипулятора (манипуляторов) и устройства передвижения робота;
- управляющей – в виде управляющего устройства.

Промышленные роботы – наиболее универсальные средства автоматизации процессов листоштамповочного производства, являющиеся эффективным аналогом руки человека. Применение ПР позволяет сократить номенклатуру средств автоматизации, снизить затраты на их разработку и сократить сроки проведения работ по автоматизации производства. Эффективность применения ПР обусловлена тремя основными аспектами: социальным, экономическим и техническим.

Социальный аспект в первую очередь связан с разрешением противоречий между высокой общеобразовательной подготовкой рабочих и трудностью обеспечения их соответствующей квалифицированной работой. Немаловажное значение имеет также необходимость повышения производительности и механизации ручного труда, особенно в сфере вспомогательного производства.

Экономический аспект определяется тенденцией к определенному росту заработной платы и, наряду с этим, относительным удешевлением производства средств автоматизации и программного управления. Помимо повышения производительности труда существенно увеличивается стабильность качества продукции, снижается доля брака и повышается коэффициент использования оборудования.

Технический аспект обусловлен тем, что в отличие от традиционных средств автоматизации ПР, благодаря их конструктивным особенностям и наличию систем программного управления, обладают большими функциональными возможностями.

Значительный экономический эффект от применения роботов достигают при условии проведения ряда организационно-технических мероприятий, включая разработку необходимых приспособлений и оснастки, систем блокировки оборудования и средств контроля протекания технологического процесса. Следовательно, наряду с проблемой создания собственно роботов перед робототехникой стоит также проблема разработки и создания роботизированных объектов, процессов, производств.

Внедрение в производство роботов, легко перенастраиваемых на выполнение различных производственных операций, а также вычислительных управляемых комплексов, служит базой для соз-

дания полностью автоматизированных производственных предприятий с четким управлением. Основным отличием этих предприятий от существующих является их перестройка посредством гибкого многофункционального управления на выполнение различных производственных процессов.

Целесообразность автоматизации процесса штамповки с применением роботов определяется такими факторами, как программа выпуска, стабильность технологического процесса, частота переналадок прессы и программирования робота, возможность догрузки прессы однотипными деталями в целях повышения коэффициента использования оборудования автоматизированного участка, возможность решения автоматической ориентации всей номенклатуры заготовок, закрепленных за прессом.

Упрощенная кинематика перемещения заготовок или изделий в листоштамповочном производстве – в сочетании с требованием рационального использования производительности прессового оборудования – определили преимущественное использование в робототехнических комплексах листовой штамповки пневматических ПР с ограниченным числом степеней подвижности и программированием величин перемещения схвата по всем координатам с помощью жестких переналаживаемых упоров, т.е. с цикловой системой управления. Эти роботы, наряду с высоким быстродействием и точностью позиционирования, относительно дешевы, характеризуются простой конструкцией и достаточно высокой надежностью.

В табл. 7.2 приведены производственные показатели, характеризующие области применения ПР в листовой штамповке, например уровень механизации и автоматизации, годовой выпуск деталей.

Автоматизация процессов холодной штамповки на основе промышленных роботов (или роботизации) должна учитывать специфику действующих производств и отвечать требованиям быстродействия, переналаживаемости и точности. Из всего многообразия задач по автоматизации вспомогательных операций листоштамповочного производства робототехника, как правило, не распространяется на операции, которые или уже автоматизированы, или автоматизируются традиционными средствами (например,

7.2. Производственные показатели, характеризующие применение ПР в листовой штамповке

Производственный показатель	Тип производства					Единичное
	Массовое	Крупносерийное	Серийное	Мелкосерийное	Мелкосерийное	
Уровень механизации и автоматизации	Специализированные автоматические линии или роботы	Роботы или переналаживаемые автоматические линии	Роботы или переналаживаемые поточные линии	Роботы или универсальные средства механизации	Роботы или универсальные средства механизации	Универсальные средства механизации
Типы	Специализированные быстроеходные прессы и пресс-автоматы	Быстроеходные универсальные прессы и пресс-автоматы	Универсальные прессы	Универсальные прессы, прессы с ПУ	Универсальные и специализированные прессы, прессы с ПУ	Универсальные и специализированные прессы, прессы с ПУ
Количество операций, закрепленных за единицей оборудования	1...3	Не более 5	5...60	Св. 60	—	—
Годовой выпуск деталей (тыс. шт):	— крупных (св. 100 кг)	100	Св. 60	60...10	Не более 10	Единицы штук
	— средних (10...100 кг)	250	Св. 150	150...20	Не более 20	Десятки штук
	— мелких (до 10 кг)	500	Св. 300	300...40	Не более 40	Сотни штук

штамповка из ленты, штамповка из полосы с помощью полосоподавателей, штампы с механическими приводами).

В настоящее время в отечественной промышленности применение роботов получило положительный опыт для автоматизации процессов холодной листовой штамповки, что позволило определить требования к построению оптимальных структур РТК, к конструкциям транспортно-ориентирующих устройств и подающих устройств, к конструкциям захвата ПР, системам блокировки и контроля протекания технологического процесса штамповки. Эти требования зависят от типа производства, формы и размеров штампуемых изделий, количества операций и других факторов. Отечественной промышленностью налажен серийный выпуск вспомогательных устройств РТК листовой штамповки, что позволит в ближайшее время значительно расширить область применения ПР в листовой штамповке как уже на освоенных операциях, так и на новых процессах (например, роботизация вторых и последующих операций при получении штучного полуфабриката из ленты или полосы на первых операциях, создание РТК на основе прессов большой мощности и роботов с числовым устройством программного управления, роботизация прерывистых технологических процессов, создание полностью автоматизированных ГПС листовой штамповки). Наряду с расширением области применения ПР в листовой штамповке принципиально важным на современном этапе является дальнейшее повышение эффективности как уже внедренных, так и вновь вводимых в эксплуатацию РТК листовой штамповки, повышение надежности и производительности оборудования в робототехнических системах листовой штамповки.

Актуальность этой проблемы объясняется следующими обстоятельствами. Кузнечно-штамповочные машины, применяемые в листовой штамповке, являются быстроходными машинами. Современные листоштамповочные автоматы имеют до 1250 ходов в минуту, а универсальные прессы силой до 1600 кН – до 120 ходов в минуту. Указанная быстроходность штамповочного оборудования приводит к тому, что собственно машинное время составляет меньшую часть времени, необходимого для изготовления детали. Основное же время расходуется на вспомогательные операции:

загрузку и выгрузку заготовок и готовых изделий, транспортировку между переходами и укладку. Следовательно, быстроходное высокопроизводительное оборудование используется недостаточно рационально.

Опыт внедрения ПР для автоматизации загрузки-выгрузки заготовок и отштампованных изделий в России и за рубежом показал, что они не могут обеспечить минутную производительность выше минутной производительности штамповщика, осуществляющего загрузку-разгрузку вручную. Это происходит вследствие того, что штамповщик перемещает заготовку или деталь в зону обработки и обратно по наикратчайшей траектории, которую не обеспечивает ПР. Благодаря сокращению непроизводительных простоев и постоянного ритма в течение всего времени работы можно добиться производительности роботизированных систем одинаковой или даже выше производительности штамповщика. Однако в целом ряде случаев этому препятствует недостаточно высокая надежность оборудования, встраиваемого в РТК и роботизированные линии листовой штамповки, неустойчивость технологических процессов штамповки и другие факторы.

Обеспечение заданного уровня производительности автоматизированных (на основе ПР и других средств механизации и автоматизации) систем листовой штамповки, более высокого, чем при ручном обслуживании основного технического оборудования, может быть достигнуто, в первую очередь, за счет повышения качества организации работы, а также надежности технологических операций, надежности системы и сокращения продолжительности штамповки.

Уменьшение продолжительности цикла штамповки получают за счет сокращения времени срабатывания средств автоматизации. *Сокращению машинного времени способствуют следующие мероприятия.*

1. Интенсификация технологических процессов за счет объединения в одном штампе, в одной машине нескольких операций или повышение степеней деформации применением более прогрессивных технологических процессов. В настоящее время полу-

чены положительные результаты по использованию в РТК листовой штамповки штампов, позволяющих штамповать несколько изделий сразу.

Такие штампы содержат несколько одинаковых рабочих позиций, расположенных в вертикальной и горизонтальной плоскостях, которые одновременно загружают и разгружают рукой робота, снабженной схватом, содержащим несколько захватных элементов по числу рабочих позиций. Возможность изготовления нескольких изделий за один ход прессы позволяет уменьшить время штамповки на одно изделие, при этом сокращается также время загрузки-разгрузки одной рабочей позиции.

Однако использование совмещенных штампов или штампов с несколькими одинаковыми позициями не всегда является экономически целесообразным, особенно в условиях мелкосерийного производства, при частой сменяемости объектов производства, так как такие штампы являются более сложными, трудоемкость их разработки и изготовления выше по сравнению с обычными простыми штампами.

2. Использование дешевых простых штампов или универсальных штампов на оборудовании с ЧПУ экономически выгодно для изготовления малых и средних партий деталей. Преимущество этого способа заключается в том, что он обеспечивает возможность получения сложного контура с применением геометрически простого инструмента в кратчайшие сроки. Дальнейшим развитием этого направления является создание обрабатывающих центров, в которых обработку листового материала осуществляют с использованием таких нетрадиционных для обработки давлением способов, как электронная, лазерная, пламенная, автогенная резка или электроэрозионная резка проволочным электродом, не требующая вообще использования штамповочной оснастки и предварительной подготовки поверхности обрабатываемой заготовки.

3. Повышение быстродействия (времени срабатывания) средств автоматизации благодаря нижеперечисленным способам.

3.1. Оптимальное совмещение движений манипуляторов и промышленных роботов, выполняющих загрузку-разгрузку лис-

тоштамповочного оборудования по различным координатам за счет совмещения движений. Перемещение схвата осуществляют по оптимальной траектории, позволяющей увеличить быстродействие на 15...40 % по сравнению с последовательной обработкой перемещений по различным координатам. Это направление повышения быстродействия не всегда удается реализовать, так как штамповочная оснастка и оборудование, используемые для штамповки, имеют различные выступающие части в виде колонок, стоек и т.п., обход которых при загрузке-разгрузке затрудняет оптимизацию совмещенных перемещений руки загрузочного устройства. Нестабильность срабатывания пневмоприводов таких устройств, которые в настоящее время являются наиболее используемыми для приводов средств автоматизации в листоштамповочном производстве, также является препятствием для широкой реализации этого направления.

3.2. Оптимизация расположения оборудования в автоматизированных системах листовой штамповки. Такая оптимизация позволяет не только получить кратчайшее перемещение средств автоматизации при загрузке-разгрузке оборудования, но и оптимизировать конструктивные параметры ПР, используемых в листовой штамповке для обслуживания закрытых прессов.

3.3. Применение многоруких манипуляторов (ПР) с жесткой или независимой кинематикой движения рук, снабженных многофункциональными схватами, что позволяет одновременно обслуживать несколько единиц оборудования, совмещая нагрузку одного оборудования с разгрузкой другого. Применение многоруких ПР для автоматизации листовой штамповки позволяет увеличить производительность кузнечно-штамповочного оборудования в среднем на 20 % по сравнению с однорукими роботами. Однако такие роботы имеют более сложную конструкцию и стоимость их выше по сравнению с однорукими, что снижает эффективность их внедрения в производство.

3.4. Повышение скорости перемещения исполнительных органов средств автоматизации, позволяющее увеличить цикловую производительность автоматизированных систем. Возможности увеличения скорости имеют весьма ограниченные пределы, что

связано со значительным увеличением инерционных нагрузок при повышении скорости и отрицательно сказываются на стойкости отдельных деталей и узлов приводов, что требует усложнения амортизационных устройств; возникают проблемы с обеспечением необходимой точности позиционирования при загрузке-разгрузке оборудования.

3.5. Повышение быстродействия исполнительных механизмов с пневматическим приводом (наиболее часто используются в средствах автоматизации и механизации листоштамповочного производства). Способами, наиболее просто обеспечивающими повышение быстродействия средств автоматизации и механизации листоштамповочного производства, являются, например, способы повышения давления, снижения трения соприкасающихся поверхностей, увеличение скорости за счет добавления различного вида ускорителей.

7.2. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Пневматические приводы (ПП) наиболее широко применяются в различных средствах автоматизации и механизации производственных процессов. Более 40 % всех выпускаемых роботов имеют ПП, которые и в ближайшее время останутся основным типом привода в промышленной робототехнике [5, 17].

В гибких автоматизированных производствах различных отраслей промышленности доля оборудования, оснащенная ПП, составляет более 30% и все время увеличивается.

ПП нашли широкое применение в средствах автоматизации и механизации листоштамповочного производства, что обусловлено его достоинствами:

- 1) относительно низкой стоимостью;
- 2) высокой скоростью выходного звена привода (при линейном перемещении до 1,5 м/с);
- 3) возможностью использования сжатого воздуха в качестве рабочего тела и заводской пневмосети с давлением 0,5...0,6 МПа;

- 4) простым цикловым управлением и высокой точностью позиционирования по точкам, определяемым жесткими упорами;
- 5) возможностью работы в агрессивной и пожароопасной среде;
- 6) отсутствием промежуточных передаточных звеньев между выходным звеном привода и рабочим органом для ПР;
- 7) относительно малой массой привода на единицу развиваемой мощности;
- 8) простой компоновкой элементов пневмопривода;
- 9) простотой обслуживания;
- 10) малой чувствительностью к ударным перегрузкам и вибрациям;
- 11) возможностью использования сжатого воздуха как среды для передачи команд управления и построения схем автоматики на базе пневмоэлементов.

Недостатки ПП:

- 1) нестабильность скорости выходного звена при изменении нагрузки;
- 2) ограниченность числа точек позиционирования (обычно две точки в приводах с цикловым управлением);
- 3) необходимость демпфирования движения выходного звена привода в конце хода.

Основные типовые способы и схемы регулирования скорости и торможения выходного звена пневмоцилиндра:

- 1) дросселирование с помощью дросселей, встроенных в каналы подачи и выхлопа воздуха;
- 2) перекрытие полости выхлопа на участке торможения;
- 3) подача в выхлопную полость противодавления;
- 4) регулирование двигателя давления на линии подачи выхлопа воздуха;
- 5) использование амортизаторов;
- 6) комбинированные методы.

Метод регулирования скорости привода с использованием дросселей. По этой схеме плавное торможение поршня в конце хода выполняют путем уменьшения расхода воздуха из полости опораживания, что конструктивно обеспечивается установкой специальных дросселей на выходе цилиндра. Сжатый воздух из

магистрала через пневмораспределитель и обратный клапан поступает в правую полость рабочего цилиндра. Поршень движется из правого положения в левое. Воздух из левой полости через дроссель и пневмораспределитель сбрасывается в атмосферу. При достижении среднего положения пневмораспределителя левая часть переключается на дроссель, имеющий повышенное сопротивление потоку. В левой полости цилиндра давление p_2 увеличивается, перепад давления $p = p_1 - p_2$ уменьшается и происходит торможение поршня за счет преобразования энергии движения поршня в энергию сжатого газа или за счет механического упора, если эти силы не равны. Для совершения обратного хода поршня производится соответствующее переключение пневмораспределителей. Данный метод демпфирования движения конструктивно прост, но требует настройки дросселей при каждом изменении нагрузки; кроме того, тормозной путь составляет значительную часть от основного. Данный метод используют в пневмодвигателях грузоподъемностью до 5 кг.

Метод демпфирования противодавлением. По этой схеме сжатый воздух из питающей магистрали поступает через пневмораспределителя в левую полость цилиндра. Правая полость через пневмораспределителя сообщена с атмосферой. Поршень движется из левого положения в правое. При достижении поршнем среднего положения один из пневмораспределителей переключается в другую позицию; сжатый воздух из магистрали питания поступает в правую полость цилиндра. Давления в левой и правой полостях цилиндра уравниваются. Из-за разности площадей левой и правой частей поршня F_1 и F_2 на поршень действует сила $P = P_1(F_1 - F_2)$, которая перемещает поршень, но с меньшей скоростью. Для создания равновесия сил на поршне временно прекращается доступ сжатого воздуха в левую часть.

На стабильность тормозного пути при торможении противодавлением определяющее влияние оказывают последовательность управляющего воздействия, координата начальной точки торможения, соотношение рабочих площадей штоковой и поршневой полостей пневмоцилиндра. Способ торможения противодавлением наиболее перспективен при грузоподъемности свыше 10 кг.

Применение гидравлических или механических демпферов является наиболее простым способом гашения энергии движения привода. Гидравлические демпферы, в которых энергия движения механических элементов преобразуется в энергию дросселирования потока жидкости через зазор с переменным проходным сечением, наиболее универсальны и находят применение в широком диапазоне грузоподъемности при значительных скоростях выходного звена. Сила демпфирования в них зависит от зазора и вязкости жидкости.

Механические пружинные демпферы отличаются простотой конструкции, но при удовлетворительной характеристике торможения имеют большие габариты, что ограничивает их использование при больших инерционных нагрузках.

Пневмодвигатели без использования специальных устройств обеспечивают позиционирование исполнительного звена по двум точкам; в ряде случаев необходимо, чтобы привод перемещения исполнительных органов средств автоматизации и механизации имел возможность регулирования хода. Все это требует необходимости использования промышленных роботов, приводы которых имеют возможность автоматически изменять ход при изменении размеров штампуемых деталей.

Пневматические системы реализации промежуточных позиций можно подразделить на четыре вида:

- 1) с выборочными стационарными упорами;
- 2) с отклонением;
- 3) с дополнительными тормозами;
- 4) регулируемые.

Среди нерегулируемых приводов позиционирования системы со стационарными упорами обеспечивают наибольшую точность позиционирования. К этим системам относятся многопозиционные цилиндры (позиционеры). Например, это может быть трехпозиционный цилиндр, в котором кроме двух конечных позиций может быть установлена промежуточная позиция. Данная конструкция позиционирования усложняет исполнительный двигатель и дает ограниченное число точек позиционирования. В этом отношении значительно большими функциональными возможностями облада-

ет система позиционирования с выдвигаемыми упорами. Она содержит бесштоковый пневмоцилиндр, поршень которого снабжен позиционной планкой. В качестве выдвигаемых упоров используются поршневые штоки небольших пневмоцилиндров, смонтированных на подвижном основании, с помощью которых могут устанавливаться различные промежуточные позиции. При больших темпах работы и значительных силах рабочего цилиндра снижение нагрузки на позиционные цилиндры выполняют с помощью демпферов.

Более простая схема позиционирования представлена на примере двигателя, выполненного в виде цилиндра двустороннего действия с двусторонним штоком. Питание одновременно подводится в правую и левую полости. При равенстве давлений в полостях поршень находится в положении покоя. Семь магистралей в полости цилиндра служат для выхода воздуха в атмосферу. При открытии по команде одного из выходов давление в соответствующей полости понижается. Под действием разности сил поршень будет двигаться до тех пор, пока не перекроется выход и давления в полостях не достигнут равных величин. Закрытие выхода может осуществляться как пневмораспределителем, так и механическим путем.

Одним из решений, используемых в пневмоприводах для остановки выходного звена в заданном положении, является применение внешнего механического тормоза. Это устройство может использовать вспомогательный электрический или пневматический двигатель для приведения в действие тормозных элементов. Торможение осуществляют в два этапа.

На первом этапе уменьшают скорость выходного звена двигателя до 5 % от магистральной; при этом с помощью датчика положения выходного звена определяют предварительные точки торможения, в которых движение начинается с уменьшенной скоростью. Уменьшение скорости производится путем создания противодействия в соответствующей полости двигателя или путем использования основного тормозного устройства, в котором создают предварительную силу торможения, увеличиваемую в точке позиционирования.

На втором этапе происходит остановка выходного звена в заданной точке с помощью тормоза.

Примером регулирования скорости и торможения выходного звена пневмоцилиндра может являться ленточный бесштоковый пневмоцилиндр с внешним тормозным устройством. В этой системе движение поршня передается через ленту или трос на тормозной ползун, скользящий по наружной поверхности корпуса цилиндра. Лента или трос перекинута через блоки, смонтированные в крышке пневмоцилиндра. В ползуне предусмотрен пневмопривод, принимающий поверхность ползуна, контактирующую с наружной поверхностью корпусов в точке позиционирования, вследствие чего выполняется торможение поршня.

На рис. 7.2 показана схема пневмопривода модуля выдвижения ПР МП-8 с позиционным управлением.

Включение электромагнитов пневмораспределителей 13, 15, 17 обеспечивается устройством управления робота, в которое поступает информация от датчика положения 13. Если электромагниты всех пневмораспределителей 13, 15, 17 включены, то происходит разгон привода с выдвиганием штока. При этом нагнетание

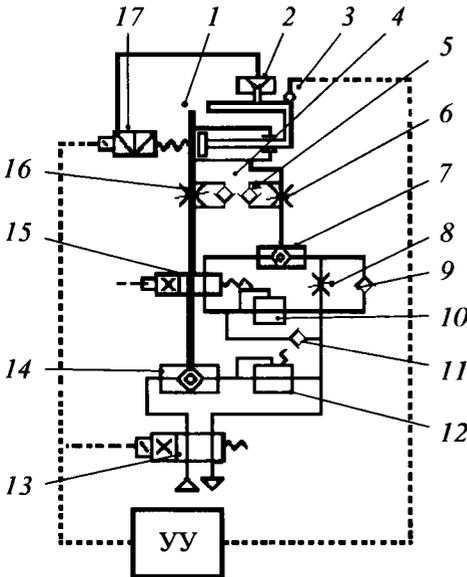


Рис. 7.2. Схема пневмопривода робота МП-8 с позиционным управлением:

УУ – устройство управления; 1 – пневмодвигатель; 2 – мембранное тормозное устройство; 3 – датчик положения штока пневмодвигателя; 4, 5, 9, 11 – обратные клапаны; 6, 8, 16 – дроссели, регулирующие величину площадей сечений подводящих линий; 7, 14 – распределительный клапан; 10, 12 – редукторы давления; 13, 15, 17 – двухпозиционные распределители

воздуха в поршневую полость происходит через распределители 13 и 15, разделительный клапан 7 и обратный клапан 4. Из поршневой полости воздух попадает в атмосферу через дроссель 6, обратный клапан 9 и распределитель 13. При подходе к точке позиционирования и определенном значении рассогласования по положению привод переходит в режим торможения противодавлением. При этом включается пневмораспределитель 13, воздух от источника питания попадает в поршневую и штоковые полости пневмоцилиндра соответственно через редукторы давления 10, 12 и привод переходит на конечную скорость, равную 10 % от максимальной скорости. Величина пониженной "ползущей" скорости v определяется настройкой редуктора давления. Когда рассогласование по положению становится меньше заданной погрешности позиционирования, устройство управления включает пневмораспределитель тормозного устройства 17 и привод фиксируется в заданной точке. Аналогично происходит выход в заданную точку при движении в сторону поршневой полости (втягивание штока). В этом случае при разгоне пневмораспределители 13 и 17 выключены, а пневмораспределитель 15 включен. При переходе на пониженную скорость включается распределитель 13. В момент фиксации привода в заданной точке включены все три пневмораспределителя.

7.3. ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Одним из путей повышения производительности пневматических приводов и других автоматизирующих устройств для листовой штамповки является повышение производительности технологического оборудования, основными частями которого являются пневматические роботы.

Важным показателем эффективности применения вспомогательных средств автоматизации является их быстродействие, которое, в свою очередь, зависит от времени срабатывания приводов основных исполнительных устройств.

Наиболее простым способом сокращения времени рабочего цикла является увеличение внутреннего диаметра цилиндра поршня, что позволяет увеличить движущие силы, перемещающие выходное звено и, следовательно, сократить время подготовительного периода и время движения за счет увеличения скорости перемещения. Но этот путь не является рациональным, так как приводит к увеличению габаритных размеров его привода, массы, расхода сжатого воздуха, к усложнению и увеличению систем регулирования скорости и демпфирования подвижных частей привода.

Возможный метод повышения быстродействия, используемый в механизме поворота робота модели "Циклон-3Б", заключается в параллельном включении при выполнении процесса разгона двух пневмоцилиндров: рабочего и упоров. Ход штока пневмоцилиндра упоров подбирают такой величины, чтобы избежать удара в конце пути. Этот метод приводит к усложнению конструкции. В роботе "Циклон-3Б" для увеличения быстродействия в пневмоцилиндре применен клапан быстрого сброса воздуха, позволяющий сократить время T_1 и T_2 из формулы (7.1) (см. далее на с. 243). Однако применение робота "Циклон-3Б" со всеми внедренными способами по обеспечению заданного быстродействия не приводит к требуемым результатам на всем диапазоне изменения параметров заготовок и типоразмеров.

Весьма перспективным, но недостаточно часто применяемым является метод повышения быстродействия пневмоприводов, основанный на снижении вредных сил сопротивления, в частности, сил трения подвижных частей относительно уплотнительных элементов, которые оказывают большое влияние на время срабатывания пневмоприводов. Вредные силы сопротивления зависят от многих факторов:

- материала уплотнительных устройств;
- качества обработки уплотнительных устройств;
- относительной скорости движения трущихся тел;
- давления в рабочем цилиндре, под действием которого уплотнения прижимаются к направляющим;
- площади контакта; силы натяга;
- коэффициента трения.

Процесс отделки внутренней поверхности цилиндра с целью улучшения ее качества для снижения сил трения очень трудоемок, сложен, требует высокоточного оборудования и высокой квалификации специалистов. Наиболее часто в пневмоцилиндрах устройств автоматизации и механизации в составе антифрикционных композиций используют фторопласт – для покрытия поверхности цилиндра, поршня или для изготовления уплотнительных устройств.

Все возможные традиционные методы снижения трения в пневмоцилиндрах, связанные с оптимизацией качества поверхности подбором антифрикционных материалов, как правило, приводят к усложнению технологии изготовления и применению дорогостоящих материалов.

К технологическим процессам, позволяющим получить высокую точность и качество поверхности цилиндров без их механической обработки, относится нанесение полимерных покрытий на грубо обработанные внутренние поверхности цилиндров.

В настоящее время большое внимание уделяют разработке и исследованию антифрикционных полимерных покрытий резиновых уплотнений.

Перспективным методом снижения трения (до 10 раз) по металлам и другим материалам является специальная обработка резинотехнических изделий, в результате которой на поверхности резины любого профиля образуется тонкая и прочная защитная пленка, обладающая (в отличие от резины) малой адгезией.

Достаточно эффективным методом снижения трения, возникающего между контактирующими деталями, одна из которых совершает и поступательное, и вращательное движение, является использование различных устройств, вызывающих вибрацию подвижной детали. Для создания колебаний определенной частоты и амплитуды с целью практически полного уничтожения трения покоя и стабилизации коэффициента трения движения можно применять вибрационный механизм, выполненный, например, из пьезоэлектрических материалов, возбуждаемых электрическим полем. Обычно частота колебаний опор качения или скольжения для снижения трения невелика (25 Гц). Применение вибраторов, обес-

печивающих ультразвуковую частоту, позволяет оптимизировать эффект снижения трения.

Использование этого метода в таких устройствах, как промышленные роботы, оснащенных датчиками внутренней и внешней информации, чувствительными на вибрации, является нерациональным.

Также известен способ повышения быстродействия силового двигателя, предусматривающий снижение сил трения поступательного движения исполнительного органа за счет их вращательного движения в начальный момент, благодаря чему достигают установление трения движения меньше статического трения. В этом случае прямолинейное движение исполнительных органов начинается при меньшем давлении рабочей среды, что приводит к сокращению времени наполнения рабочего объема. Так как трение в уплотнительных соединениях пневмоцилиндра зависит от давления, возможность поступательного перемещения исполнительного органа при меньшем давлении рабочей среды в свою очередь способствует снижению сил трения, а следовательно, повышению быстродействия.

Все рассмотренные способы повышения быстродействия в конечном счете определяются особенностями динамики перемещения поршня пневмоцилиндра, регулированием кинематических и выбором наиболее рациональных конструктивных параметров, обеспечивающих оптимальное быстродействие, снижение сил сопротивления.

7.4. ТЕОРИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Проблема повышения производительности пневмоприводов связана с разработкой методов исследования и выбора их оптимальных параметров.

Большая часть работ по теории пневматических систем относится к исследованию типового пневматического устройства, задача расчета которого сводится к совместному решению уравнений рабочих органов и термодинамических уравнений, характери-

зующих движущие силы и силы сопротивления, обусловленные использованием сжатого воздуха как рабочего тела механизма.

Для решения этой задачи обычно вводят ряд допущений:

- о неизменности температуры или давления в процессах, протекающих в рабочих цилиндрах;
- о постоянстве массы перемещающихся частей системы и нагрузки на штоке поршня;
- о малости влияния теплообмена с окружающей средой и об отсутствии утечек;
- использование приближенных формул расхода воздуха, постоянного коэффициента политропы, учета сил трения с помощью показателя политропы или коэффициента, пропорционального ускорению.

Направления развития теории пневматических приводов автоматизированных устройств в настоящее время следующие:

- переход от исследования простых типовых устройств к более сложным, применяемым с целью расширения функциональных возможностей, улучшению динамических характеристик и быстродействия;
- выбор параметров систем управления, позволяющих удовлетворять заданным условиям.

Основным типом привода исполнительных средств автоматизации листоштамповочного производства является пневматический привод, время рабочего хода которого складывается из времени прямого хода $T_{п.х}$, времени обратного хода $T_{о.х}$ и времени выполнения технологической операции $T_{опер}$.

Время прямого хода пневмопривода состоит из следующих основных интервалов времени соответственно трем периодам:

$$T_{п.х} = T_1 + T_2 + T_3, \quad (7.1)$$

где T_1 – время от начала переключения распределителя до начала движения поршня;

T_2 – время движения поршня;

T_3 – время изменения давления до нужной величины после останова поршня.

Время обратного хода включает аналогичные интервалы времени.

Время рабочего цикла составляется из времени прямого и обратного ходов и времени технологической операции, которое здесь не рассматривается.

Расчет динамических характеристик пневматических приводов изложен в приложениях I–V, которые в дальнейшем будут необходимы студентам на лабораторных и практических занятиях, при выполнении курсовых работ, дипломных проектов соответствующих специальностей и направлений.

Повышение производительности РТК листовой штамповки также находится в прямой зависимости от времени срабатывания приводов исполнительных устройств ПР и других средств автоматизации. Одним из способов повышения быстродействия пневматических приводов горизонтального перемещения средств автоматизации, применительно к листовой штамповке, является использование пружины в качестве линейного ускорителя. При ходе вперед происходит расжатие пружины, т.е. ускорение ручки манипулятора робота. При ходе назад ручки манипулятора происходит замедление за счет потерь на взвод пружины, во время которого можно производить различные вспомогательные операции замены деталей и инструментов. Расчет и схема типового поршневого привода двустороннего действия представлены в приложении II.

7.5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ШТАМПОВКИ

Автоматизированный комплекс для многопереходной штамповки содержит листоштамповочный пресс, на столе которого смонтирована подштамповочная плита. На плите с возможностью перемещения вдоль плиты смонтированы штамповые блоки технологических переходов штамповки. Кроме того, в состав комплекса входят устройства для подачи исходной заготовки, два промышленных робота и устройство для складирования отштампованных изделий. Штамповые блоки прикреплены с помощью колонок – с возможностью вертикального перемещения вдоль них –

к приводным зубчатым рейкам, которые смонтированы в подштамповочной плите с возможностью перемещения в ее направляющих. Приводом перемещения реек является пневмоцилиндр двойного действия, корпус которого прикреплен к подштамповочной плите. На штоке пневмоцилиндра закреплена зубчатая рейка, взаимодействующая с шестерней, смонтированной с консолью на валу. Вал установлен в подштамповочной плите с возможностью вращения в опорах. На валу жестко закреплены зубчатые колеса, взаимодействующие с рейками, к которым прикреплены штамповочные блоки. Каждый штамповочный блок включает нижнюю и верхнюю плиты, направляемые относительно друг друга по колонкам. На нижней и верхней плитах штамповочных блоков смонтированы инструментальные блоки. Верхняя плита каждого нового блока подпружинена относительно нижней с помощью пружин, монтируемых на направляющих колонках. Нижние плиты штамповочных блоков опираются на опоры качения рабочей зоне штамповки. Опоры качения закреплены с возможностью вертикального перемещения и подпружинены относительно подштамповочной плиты (А.с. № 1163943, СССР).

К недостаткам этого комплекса следует отнести необходимость применения мощных амортизирующих устройств, которые должны обеспечивать плавную остановку штамповочных блоков в конце каждого рабочего хода привода перемещения штампов. Кроме того, в этом комплексе не обеспечивается минимизация времени перемещения штампов, что связано с характером работы пневмоцилиндра привода перемещения штампов. Как известно, в пневмоцилиндрах для подготовительного периода до момента страгивания поршня необходимо достаточно большое время. Этих недостатков не имеет предлагаемый комплекс, так как пневмопривод перемещения штамповочных блоков снабжен ускорителями рабочих ходов, обеспечивающих уменьшение времени подготовительного периода. Кроме того, шток-рейка привода перемещения штампа связана кривошипно-шатунными механизмами с корпусом ползушки, снабженной фиксаторами, взаимодействующими с трафаретом, в котором установлены штамповые блоки. Трафарет пе-

ремещается по направляющим качения направляющих подштамповкой плиты. Такая конструкция привода обеспечивает плавное изменение скорости перемещения штампов – от максимальной скорости до нулевой в конечных положениях штампов, что не требует применения специальных мощных амортизаторов и обеспечивает повышение надежности комплекса.

На рис. 7.3, *а* изображен общий вид комплекса, на рис. 7.3, *б* – привод перемещения штамповых блоков, на рис. 7.3, *в, г* – разрезы комплекса. На рис. 7.3, *д–ж* показана конструкция трафарета, в который устанавливаются штамповые блоки; на рис. 7.3, *з* – конструкция ускорителей перемещения.

Автоматизированный комплекс (рис. 7.3, *а*) содержит пресс 1, на столе которого смонтирована подштамповая плита 2. На плите 2 с возможностью перемещения вдоль плиты смонтированы штамповые блоки 8 и 9 технологических переходов штамповки. В состав комплекса также входят устройство 6 для подачи заготовки на позицию захвата рукой робота, два промышленных робота 4 и 5, устройство 3 для складирования отштампованных изделий и закрепленный на станине привод 7 перемещения штамповых блоков.

Привод перемещения штамповых блоков (рис. 7.3, *б*) включает в себя пневмоцилиндр 11, закрепленный на станине, примыкающей к подштамповой плите, с ускорителями 10 и 12, штокрейка 17 которого взаимодействует с зубчатым колесом 13. Шестерни 13 жестко связаны с двумя кривошипами 14. Кривошипы 14 шарнирно связаны с шатунами 15, которые, в свою очередь, также шарнирно связаны с ползушкой 16, смонтированной с возможностью перемещения вдоль станины.

Шток-рейка привода перемещения штампов опирается на ролик 29 (рис. 7.3, *в*), закрепленный на станине 31 в кронштейнах 30 с возможностью вращения вокруг оси 28. Жесткое скрепление шестерни 13 с кривошипами 14 обеспечивается болтами 27 и штифтами 24. Шестерня 13 с кривошипами 14 смонтирована с возможностью вращения вокруг оси 25, неподвижно закрепленной в кронштейнах 26.

На ползуне 16 (см. рис. 7.3, б и з) смонтирован пневмоцилиндр 20, шток-рейка 21 которого взаимодействует с зубчатыми секторами фиксаторов 19, установленных в корпусе ползушки с возможностью поворота вокруг оси 22, закрепленных в ползушке. Фиксаторы на свободных концах имеют форму клиньев, которыми они входят в пазы двух штанг 18, связанных с трафаретом, в котором установлены штамповые блоки. Таких пазов на штангах предусмотрено по три, и они расположены на расстоянии друг от друга, соответствующем шагу перемещения трафарета.

На рис. 7.3, д–ж показана конструкция трафаретов 32, в которые устанавливаются штамповые блоки. Трафарет предназначен для установки в него двух штамповых блоков последовательных технологических переходов и перемещений их от привода шагами в рабочую зону прессы и возврату в исходное положение. Каждый трафарет представляет собой раму, снабженную роликовыми опорами, выполненными в виде цепочки роликов 33, перемещающихся в каналах, предусмотренных в стенах трафарета. В трафарете предусмотрены два гнезда, которые устанавливаются в штамповые блоки и кронштейны, которыми трафарет соединяется со штангами 18.

На рис. 7.3, з показана конструкция ускорителя перемещения. Ускорители 10 и 12 (рис. 7.3, б и ж) выполнены в виде двух полых цилиндров, монтируемых на крышках цилиндра 11. Внутри полых цилиндров установлены шайбы 37 и 38 со штоками 34 и 35, подпружиненных относительно dna полых цилиндров пружинами 36 и 39.

Автоматизированный комплекс в рабочем режиме функционирует следующим образом. Рабочему режиму комплекса соответствует режим, когда штампы, соответствующие штампуемой в это время заготовке, установлены в гнездах трафарета. Устройство для подачи исходных заготовок на позицию захвата рукой робота заполнено необходимыми заготовками. В систему управления комплексом введена программа управления оборудованием и всеми механизмами комплекса. Трафарет со штампами находится в позиции, соответствующей загрузке штампа первого перехода исходной заготовкой. Роботы оснащены соответствующими схватами и рука первого робота 5 находится над устройством для подачи

исходных заготовок. По команде системы управления рука робота 5 опускается сверху на стопу заготовок и осуществляет захват верхней заготовки. Рука робота поднимается вверх, поворачивается на угол 120° , перемещается в сторону штампа 9 первого перехода и укладывает в него заготовку, которая в исходном положении находится в раскрытом состоянии благодаря наличию пружин на колонках каждого штампового блока. Затем рука робота производит перемещение в обратной последовательности и возвращается в исходное положение. Это является сигналом для перемещения трафаретов 32 со штампами первого и второго переходов приводом 7 перемещения штампов в рабочую зону прессы 1, в которой устанавливается штамп первого перехода.

Перемещение трафарета со штамповыми блоками осуществляется пневмоцилиндром 20, установленным на ползунке 16. Фиксаторы 19 поворачиваются и устанавливаются в горизонтальное положение, при этом они своими свободными клиновидными концами входят в пазы на штангах 18, соединяя ползушку 16 со штангами 18, связанными трафаретом 32 со штамповыми блоками. При перемещении поршня со штоком пневмоцилиндра 11 вправо (см. рис. 7.3, б) вместе с ним перемещается рейка 17, которая поворачивает зубчатое колесо 13 и жестко связанные с ней кривошипы 14. При повороте кривошипы 14 толкают шатуны 15, шарнирно связанные с ними. Перемещение шатунов 14 приводит к перемещению ползушки 16, так как она шарнирно связана с шатунами. Ползушка, перемещаясь по направляющей 23 (см. рис. 7.3, з), перемещает на шаг штанги 18 и жестко связанный с ними трафарет 29, в котором установлены штамповые блоки последовательных переходов штамповки.

После окончания одного рабочего хода обратным перемещением штока 21 с рейкой пневмоцилиндра 20 фиксаторы 19 поворачиваются в обратном направлении и выводятся из зацепления со штангами 18. Затем поршень со штоком пневмоцилиндра 11 возвращается в исходное положение. Вместе с ним перемещается в обратном направлении рейка 17, которая поворачивает шестерню 13 и кривошипы 14 в противоположном направлении, что, в свою очередь, приводит к возврату в исходное положение шатунов 15 и

связанные с ними ползушки 16. При этом штанги 18, так как они уже не связаны фиксаторами 19 с ползушкой 16, остаются в неподвижном положении. Следовательно, неподвижным будет и трафарет со штамповыми блоками. Благодаря наличию ускорителей 10 и 12 при перемещении поршня со штоком пневмоцилиндра 11 значительно уменьшается время подготовительного периода рабочего хода пневмоцилиндра. Это обеспечивается тем, что в момент подачи магистрального давления в рабочую полость на поршень воздействуют подпружиненные толкатели 34 и 35 ускорителей, смонтированных на подпружиненных пружинами 36 и 39 шайбах 37 и 38, что обеспечивает начало перемещения поршня пневмоцилиндра при значительно меньших давлениях воздуха в магистрали.

После того как штамп 9 первого перехода займет рабочую позицию в зоне пресса, пресс включается на рабочий ход и осуществляется штамповка первого перехода. Когда ползун пресса при обратном ходе займет верхнее положение, дается сигнал на перемещение руки второго робота 4 в рабочую зону штампа 9 первого перехода. Штамп в это время находится в раскрытом состоянии, что осуществляется пружинами, смонтированными на колонках штампа. Робот вводит руку, опускает ее на полуфабрикат заготовки, осуществляя ее захват. Затем рука поднимается и обратным горизонтальным перемещением возвращается в исходное положение, удерживая в схвате отштампованный полуфабрикат заготовки.

После того как рука робота 4 займет исходное положение, приводом перемещения штампов в рабочую зону пресса вводится штамп 8 второго перехода, а штамп 9 первого перехода выводится из рабочей зоны. Перемещение штампа второго перехода в рабочую зону штампа первого перехода осуществляется аналогично тому, как это описано выше. Рука робота 4 вводится в штамп 8 второго перехода и укладывает в него полуфабрикат заготовки. После того как рука робота 4 займет исходное положение, вновь включается пресс и осуществляется штамповка второго перехода. Когда ползун пресса вновь займет верхнее положение, рука робота 4 вводится в рабочую зону, осуществляя захват отштампованного изделия и транспортировку его в тару для складирования отштампованных изделий.

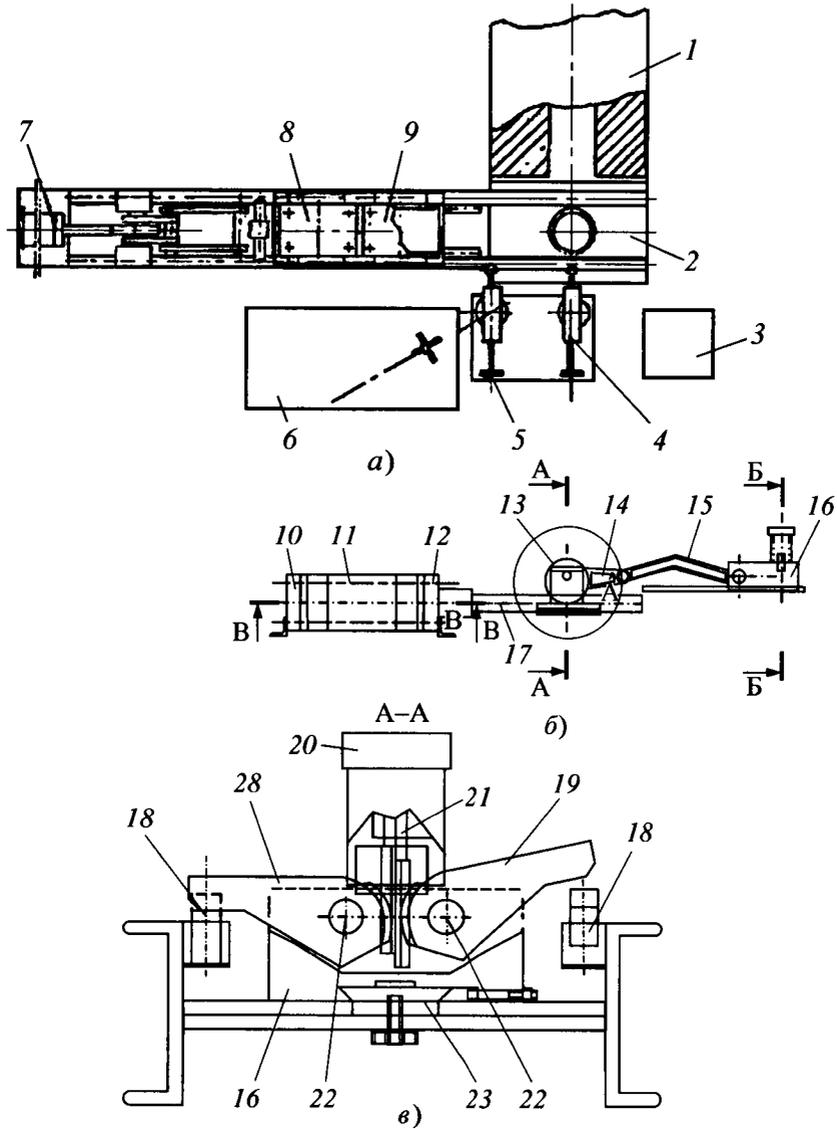


Рис. 7.3. Комплекс для многопереходной штамповки (начало а-в)

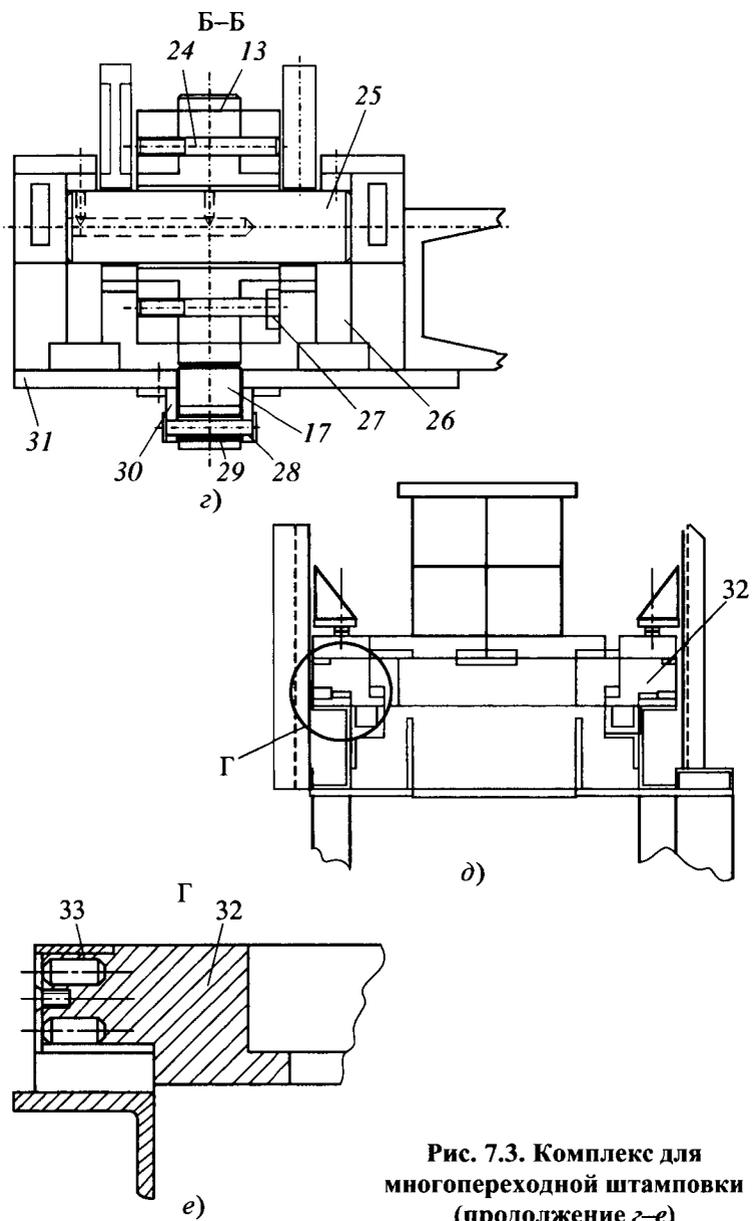


Рис. 7.3. Комплекс для многопереходной штамповки (продолжение з-е)

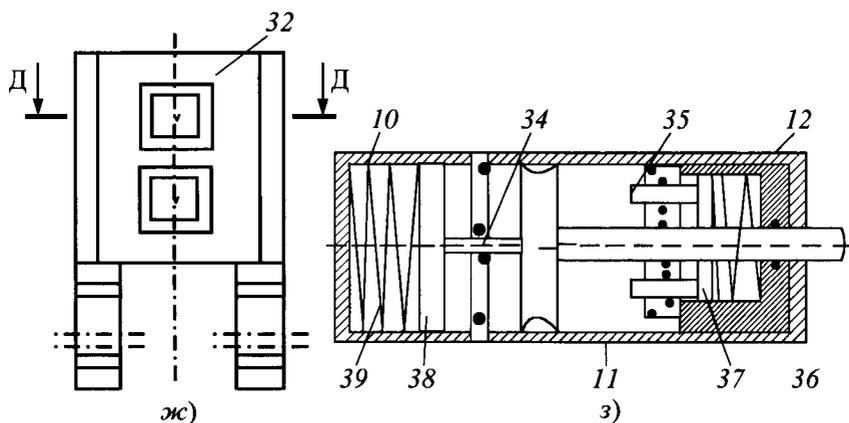


Рис. 7.3. Комплекс для многопереходной штамповки (окончание жс-з):

- a* – общий вид; *б* – привод перемещения штамповых блоков;
в – разрез по *A-A* привода перемещения штамповых блоков; *г* – разрез по *Б-Б* приводов перемещения штамповых блоков; *д* – конструкция трафарета; *е* – разрез *Г-Г*; *жс* – конструкция трафарета со штампами первого и второго переходов; *з* – конструкция ускорителей перемещения:
 1 – пресс; 2 – подштамповая плита; 3 – устройство для складирования отштампованных изделий; 4, 5 – промышленные роботы; 6 – устройство для подачи заготовки на позицию захвата рукой робота; 7 – привод перемещения штамповых блоков; 8, 9 – штамповые блоки технологических переходов штамповки; 10, 12 – ускорители; 11, 20 – пневмоцилиндры; 13 – зубчатое колесо (шестерня); 14 – два кривошипа; 15 – шатуны; 16 – ползушка; 17, 21 – шток-рейки; 18 – штанги; 19 – фиксаторы; 22 – ползушки; 23 – направляющая ползушки; 24 – штифты; 25 – ось вращения; 26, 30 – кронштейны; 27 – болты; 28 – ось вращения; 29 – ролик; 31 – станина; 32 – трафарет со штампами первого и второго переходов; 33 – рама с опорами в виде цепочки роликов; 34, 35 – штоки; 36, 39 – пружины (ускорители); 37, 38 – шайбы

Контрольные вопросы

1. Какие виды производственных показателей характеризуют применение промышленных роботов в листовой штамповке?
2. За счет чего получают уменьшение продолжительности цикла штамповки?
3. Какие факторы влияют на использование пневматических приводов (ПП) средств автоматизации в листовой штамповке? Укажите недостатки ПП.
4. Какие существуют основные типовые способы и схемы регулирования скорости и торможения выходного звена пневмоцилиндра?
5. Какие методы уменьшения трения в пневмоцилиндрах используются в производстве?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I. Основные уравнения для расчета динамических характеристик пневматического привода

Для пневматического привода время рабочего хода складывается из времени прямого хода $T_{п.х}$, времени обратного хода $T_{о.х}$ и времени выполнения технологической операции $T_{опер}$.

Время прямого ход рассчитывается по формуле (7.1) (см. с. 243).

Уравнение динамики поршня пневматического двигателя с учетом действующих на него сил представлено следующим выражением:

$$F(p_1 - p_2) = mx'' + \alpha x' + N_i, \quad (I.1)$$

где F – площадь поршня; p_1, p_2 – давление воздуха в рабочей полости и полости продиводавления; m – масса всех поступательно-движущихся частей; x'' – ускорение поршня; mx'' – сила преодоления инерционности массы подвижных частей двигателя выдвигения захватного устройства; $\alpha x'$ – величина, учитывающая демпфирование при утечке воздуха между поршнем и стенками цилиндра (принимается равным 0); N_i – сумма сил, действующих на поршень (трение, постоянная внешняя сила и др.).

Для горизонтального расположения цилиндра привода и использовании линейного ускорителя в виде пружины

$$N_i = cx_n + N_n + N_t, \quad (I.2)$$

где c – жесткость пружины; x_n – длина пружины; cx_n – сила начального поджатия возвратной пружины (если она имеется в приводе); N_n – постоянная сила нагрузки на оси штока; N_t – сила трения.

В общем случае составляющие N_i определяют из условий привода.

Время перемещения поршня и давление в рабочей полости можно определить из совместного решения уравнений (I.1) и (I.2) и последующего интегрирования:

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{RT_m G - p_i \frac{dx}{dt}}{\frac{V_0}{F} + x}, \quad (1.3)$$

где G – расход воздуха в рабочую полость; V_0 – начальный объем подпоршневой полости; F – площадь поршня; x – ход поршня; V_0/F – величина, постоянная для рассматриваемой конструкции привода; R – газовая постоянная; T_m – температура в магистрали, принимается 290 К.

При интегрировании (1.1) и (1.3) возникают определенные проблемы из-за сложности и нелинейной зависимости (1.3) и на практике данная система уравнений решается численным интегрированием.

На основе зависимостей (1.1) и (1.3) для малых промежутков времени и участков интегрирования систему уравнений представляют в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \Delta p_i &= \frac{k}{x_{i-1}} \left(\frac{RT_m}{F} G_m - p_{i-1} x'_{i-1} \right) \Delta t_i; \\ p_i &= p_{i-1} + \Delta p_i; \\ x_i'' &= \frac{F}{m} (p_i - p_{ат}) - \frac{\alpha}{m} x'_{i-1} - \frac{c}{m} x_{i-1} - \frac{N}{m}; \\ x_i' &= x_{i-1}'' \Delta t_i; \\ x_i' &= x'_{i-1} + x_i'; \\ x_i &= x_{i-1} + x'_{i-1} \Delta t_i + \frac{x_i'' \Delta t_i^2}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

где $k = \frac{V_0}{F}$ – коэффициент, равный отношению начального объема полости цилиндра к площади поршня; Δp_i – изменение давления в полости на i -м шаге; R – газовая постоянная; T_m – температура в магистрали, равная 290 К; G_m – расход воздуха, поступающего из магистрали в рабочую полость привода; p_i – давление воздуха

в рабочей полости; $p_{ат}$ – атмосферное давление; $\alpha x'$ – величина, учитывающая демпфирование при утечке воздуха между поршнем и стенками цилиндра (принимается равным 0); N – сумма сил, действующих на поршень (сила трения, постоянная внешняя сила и др.); m – масса всех поступательно-движущихся частей; x – перемещение поршня; x' – скорость поршня; x'' – ускорение поршня; c – жесткость пружины.

Максимальное время передвижения поршня из одного крайнего положения в другое при рабочем ходе определяется суммой Δt_i , где i – число шагов интегрирования.

Показанная система основных уравнений для расчета динамических характеристик является основной для большинства типов пневматических приводов.

Приложение II. Динамика и кинематика пневматического привода с использованием линейного ускорителя

Повышение производительности РТК листовой штамповки находится в прямой зависимости от времени срабатывания приводов исполнительных устройств ПР и других средств автоматизации.

Одним из способов повышения быстродействия пневматических приводов горизонтального перемещения средств автоматизации, применительно к листовой штамповке, является использование пружины в качестве линейного ускорителя.

При ходе вперед происходит расжатие пружины, т.е. рука манипулятора робота ускоряется. При ходе назад руки манипулятора происходит замедление за счет потерь на взвод пружины, во время которого можно производить различные вспомогательные операции замены деталей и инструментов.

Схема типового поршневого привода двустороннего действия представлена на рис. II.1. Сжатый воздух из магистрали поступает через воздухораспределитель 1 в одну из полостей (давления) рабочего цилиндра 2. Под действием давления сжатого воздуха поршень 4 перемещается. В период движения поршня или в период последующего его выстоя выполняют заданную технологическую операцию.

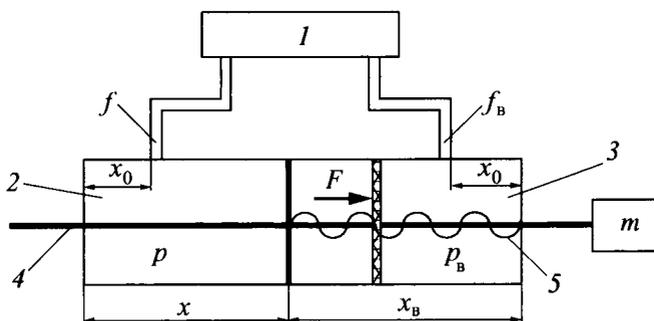


Рис. II.1. Схема типового поршневого привода двустороннего действия:
 1 – воздухораспределитель; 2 – полость давления цилиндра; 3 – полость противодействия (выхлопа) цилиндра; 4 – поршень; 5 – линейный ускоритель в виде пружины

После переключения воздухораспределителя сжатый воздух поступает в полость противодействия (выхлопа) 3 рабочего цилиндра, при этом первая полость давления сообщается с атмосферой и поршень совершает обратный ход. Линейным ускорителем является пружина 5.

После открытия распределителя воздушная волна сжатого воздуха из магистрали распространяется по трубопроводу и достигает рабочей полости цилиндра, давление воздуха в которой начинает подниматься. Одновременно с этим из второй полости (соединенной через воздухораспределитель с атмосферой) происходит истечение воздуха. При достижении давления в рабочей полости величины, способной преодолеть силы сопротивления механизма и линейного пружинного ускорителя, поршень трогается с места. После остановки поршня давление в рабочей полости возрастает, а в полости противодействия падает.

Время прямого хода пневмопривода определяется по формуле (7.1) (см. с. 243). Время обратного хода состоит из аналогичных интервалов времени. Время рабочего цикла включает время прямого и обратного ходов и время технологической операции, которое здесь не рассматривается.

Интервал времени от начала переключения распределителя до начала движения поршня T_1 , в свою очередь, складывается из следующих интервалов: t_1 – время срабатывания распределителя; t_2 – время распространения волны давления от распределителя до рабочего цилиндра; t_3 – время наполнения полости до начала движения поршня.

У большинства приводов время срабатывания распределителя занимает небольшую долю в общей циклограмме привода, поэтому им можно пренебречь при расчетах, не требующих высокой точности.

Время распространения волны давления от распределителя до рабочего цилиндра определяют по формуле:

$$t_2 = L_T/a, \quad (\text{II.1})$$

где L_T – длина трубопровода, a – скорость распространения звука в воздухе, которая при температуре 290 К равна 341 м/с.

Для определения полной эквивалентной длины трубопровода с учетом различных вспомогательных устройств используют следующую формулу с учетом диаметра и конструкции распределителей:

$$L_{т.э} = L_{т.э1} + L_{т.э2} + L_{т.э3} + L_{т.э4}, \quad (\text{II.2})$$

где $L_{т.э1}$ – эквивалентная длина для воздухораспределителя; $L_{т.э2}$ – эквивалентная длина для влагоотделения (для фильтров); $L_{т.э3}$ – эквивалентная длина для маслораспределителя; $L_{т.э4}$ – эквивалентная длина для регулятора давления тормозного золотника (берутся из табл. II.1 для соответствующих устройств).

II.1. Параметры приведенной эквивалентной длины трубопровода

Наименование устройства	Условный проход d_y , мм	Эффективная площадь проходного сечения $f_э$, мм ²	Длина* эквивалентного трубопровода $L_{т.э}$, м
Трехлинейный клапан В76–2	3	1,8	1,9
Воздухораспределитель В74–1	4	3,5	1,8
Воздухораспределители В74–1, В74–2, В74–6, В74–7, В79–11, В63–1	4	4,0	1,4
То же	8	14	3,7
Воздухораспределители В63–1, В63–2, В54–1, В64–2	10	23	4,1
То же	15	51	5,3
То же	20	87	7,5
Обратные клапаны В51–1 и дроссели с обратным клапаном В71–1 при работе в качестве обратного клапана	10	14	14,9
То же	15	39	13,2
То же	20	69	17,5
То же	25	118	17,5

Продолжение табл. II.1

Наименование аппарата	Условный проход d_y , мм	Эффективная площадь проходного сечения f_3 , мм ²	Длина* эквивалентного трубопровода $L_{т.э}$, м
Тормозной золотник В77-3, рычаг нажат	10	23	5,8
То же	15	51	6,3
То же	20	87	14,0
То же	25	135	12,7
Тормозной золотник В77-3, рычаг нажат	10	14	14,7
То же	15	32	22,4
То же	20	57	30
То же	25	88	38
Фильтры В41-1	10	25	3,4
То же	15	52	6,4
Маслораспределители	10	19	7,1
То же	25	118	17,6
Реле УСЭППА типа Р1Р.1 (Р-3Н)	2	0,94	0,7

* При $d_{т.э} = d_y$ и коэффициенте потерь в трубе λ , равному 0,03.

Примечание. Характеристики пропускной способности пневмоустройств f_3 и L , мало зависят от конструкции и определяются, главным образом, функциональным назначением устройства и его условным проходом. Это дает основание пользоваться данными таблицы для приближенной оценки пропускной способности аналогичных устройств, выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами.

В зависимости от типа устройства и его функционального назначения длина эквивалентного трубопровода меняется при изменении эффективной площади проходного сечения и условной длины (прохода) устройства.

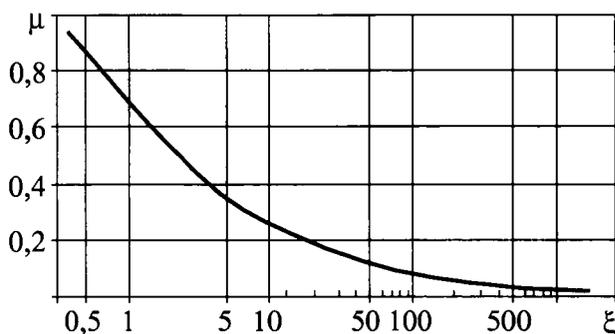


Рис. II.2. График для определения параметров трубопровода, эквивалентного сосредоточенному сопротивлению, а также параметров сосредоточенного сопротивления, эквивалентного трубопроводу

Коэффициент сопротивления подводящей линии:

$$\xi_s = 0,5\lambda L_{т.з}/d_t, \quad (\text{II.3})$$

где λ – коэффициент трения воздуха в трубе, равный 0,03; d_t – внутренний диаметр подводящей трубы.

На основании графика зависимости среднего коэффициента расхода $\mu_t = f_s/f_{т.з}$ трубопровода от коэффициента потерь ξ_s (рис. II.2), взяв $\lg \xi_s$, можно определить коэффициент μ расхода. Для определения коэффициента расхода выхлопной линии μ_v нужно выполнить такую же процедуру, как и для нахождения коэффициента подводящей линии μ_t .

Пример. Трубу длиной 10 м и внутренним диаметром $d_t = 0,015$ м и $f_{т.з} = 314 \cdot 10^{-6}$ м² заменить сосредоточенным сопротивлением того же проходного сечения. Решить также задачу для случая, когда в качестве заменяющего сопротивления выбрана труба диаметром $d_{т.з} = 0,02$ м; $\lambda = 0,03$ и $f_{т.з} = 177 \cdot 10^{-6}$ м². По формуле (II.3) подсчитываем $\xi_s = 0,5 \cdot 0,03 / 0,015 = 10$; этому значению ξ_s на рис. II.2 соответствует $f_s/f_{т.з} = 0,26$, откуда получаем $f_s = 0,26 f_{т.з}$ и, следовательно, $f_s = 0,26 \cdot 177 \cdot 10^{-6} = 46 \cdot 10^{-6}$ м².

Чтобы перейти от данной трубы к эквивалентной ей по пропускной способности, но имеющей больший диаметр проходного сечения, поступаем следующим образом.

Подсчитываем ξ_3 исходной трубы и находим по графику на рис. II.2 соответствующее ей значение f_3/f_T . Далее найденное отношение f_3/f_T пересчитываем с учетом новых условий, умножая на $f_T/f_{T,3}$, где f_T и $f_{T,3}$ — площадь сечения исходной трубы и эквивалентного трубопровода соответственно. По полученному отношению $f_3/f_{T,3}$ с помощью графика (см. рис. II.2) вычисляем ξ_3 — характеристику эквивалентной трубы заданного сечения, и от ξ_3 переходим к $L_{T,3}$.

В рассматриваемом примере $\xi_3 = 10$; величина f_3/f_T , определенная по графику на рис. II.2, равняется 0,26; эту величину пересчитываем с учетом нового диаметра эквивалентного трубопровода, умножая на 0,26 отношение $f_T/f_{T,3} = (177 \cdot 10^{-6}) / (314 \cdot 10^{-6})$; в результате получаем $f_3/f_{T,3} = 0,145$. Снова обращаясь к графику на рис. II.2, по $f_3/f_{T,3} = 0,145$ определяем $\xi_3 = 35$ и, переходя к $L_{T,3}$ по формуле (II.3), окончательно имеем $L_{T,3} = (2 \cdot 0,020 \cdot 35) / 0,03 = 46$ м.

При рассмотрении процесса изменения состояния воздуха в процессе наполнения объема рабочей полости пневматического привода составим уравнение теплового баланса для наиболее общего случая, когда этот объем переменный.

Предположим, что в полость рабочего цилиндра за время dt из ресивера неограниченного объема втекает $d\theta_m$ (кг) воздуха, причем вся энергия втекающего газа идет на изменение внутренней энергии воздуха в полости и на совершение внешней работы.

Если пренебречь теплообменом в процессе истечения воздуха, то уравнение баланса энергии для переменного количества газа будет иметь вид:

$$i_m d\theta_m - \alpha(T - T_{ат})F' dt = d(\theta_u) + A p dV, \quad (II.4)$$

где i_m — теплосодержание воздуха в магистрали; θ_m — количество воздуха, поступающего из магистрали в рабочий цилиндр; θ_u — количество воздуха в рабочей полости цилиндра; T , T_m , $T_{ат}$ — температура воздуха в рабочей полости цилиндра, магистрали и окружающей среде соответственно; F' — теплопередающая поверхность рабочего цилиндра; α — общий коэффициент теплопередачи через эту поверхность; V — объем рабочей полости цилиндра; A —

тепловой эквивалент работы; p – абсолютное давление воздуха в этой полости.

Первый член левой части уравнения (II.4) характеризует количество тепловой энергии, поступившее в систему со сжатым воздухом, второй член – количество тепла, поступившее в систему (или удаленное из нее) в результате теплообмена рабочего цилиндра с окружающей средой. Члены правой части уравнения характеризуют соответственно изменение внутренней энергии системы и внешнюю работу.

Условия теплообмена и теплопередачи пневматических приводов изучены мало и не имеется достаточно данных для количественной оценки члена уравнения $\alpha(T - T_{ат})F' dt$, являющегося функцией времени, коэффициента теплопередачи, величины теплопередающей поверхности и перепада температур. Это затрудняет практическое использование уравнения (II.4) в его полном виде. При работе пневмопривода в обычных условиях, когда температура окружающей среды и температура воздуха в полости различаются сравнительно мало, а время процесса невелико, теплообменом можно пренебречь для упрощения расчета.

Уравнение (II.4), если в нем отбросить второй член, характеризующий теплообмен, и подставить значение теплосодержания $i_m = C_p T_m$, а также значение внутренней энергии $u = C_v T$, будет иметь следующий вид:

$$C_p T_m d\theta_m = C_p T d\theta + C_v \theta dT + A p dV, \quad (II.5)$$

где C_p , C_v – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении и при постоянном объеме, Дж/(кг·°С).

Подставляя в (II.5) значение

$$\theta dT = (1/R)(V dp + p dV) - T d\theta,$$

полученное после дифференцирования уравнения состояния $pV = \theta RT$, где p – газовая постоянная, а также значения $AR = C_p - C_v$ и показателя адиабаты $k = C_p/C_v$ ($k = 1,4$), получим

$$kRT_m d\theta_m = k p dV + V dp. \quad (II.6)$$

Уравнение (II.6) является основным для определения давления в полости наполнения.

Для постоянного объема полости наполнения ($V = \text{const}$, $dV = 0$) уравнение (II.6) принимает следующий вид:

$$kRT_m d\theta_m = V dp. \quad (\text{II.7})$$

Количество воздуха в полости можно выразить через его расход G_m и интервал времени dt :

$$d\theta_m = G_m dt, \quad (\text{II.8})$$

причем для надкритического режима ($0 < Y < 0,528$) при $p_0 = p_m$, $T_0 = T_m$, G_m равно:

$$G_m = \frac{\mu f B_* p_m}{T_m^{0,5}} = 0,396 \mu f \frac{p_m}{T_m^{0,5}}, \quad (\text{II.9})$$

где Y – отношение давлений p/p_0 при наполнении – безразмерное давление в рабочей полости; p_m – давление воздуха в магистрали; T_m – абсолютная температура воздуха в магистрали, К; μ – коэффициент расхода воздуха подводящей линии; f – площадь отверстия для входа воздуха в полость, м².

Для подкритического режима ($0,528 < Y < 1$):

$$G_m = \frac{\mu f B_* p_m}{T_m^{0,5}} \varphi(Y) = 1,539 \mu f \frac{p_m}{T_m^{0,5}} \varphi(Y). \quad (\text{II.10})$$

В уравнениях (II.9), (II.10)

$$B_* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \left(2g \frac{k}{k+1} \frac{1}{R} \right)^{0,5} = 0,396;$$

$$B = \left(2g \frac{k}{k+1} \frac{1}{R} \right)^{0,5} = 1,53;$$

$\varphi(Y) = \sqrt{Y^{\frac{2}{k}} - Y^{\frac{k+1}{k}}}$ – функция расхода; p_m – давление воздуха в магистрали, Па; $Y = p/p_m$ – отношение текущего давления в полости p к давлению в магистрали p_m ; μ – коэффициент расхода; f – площадь

отверстия для входа воздуха в полость, m^2 ; g – ускорение силы тяжести, m/c^2 ; k – показатель адиабаты (1,4); R – газовая постоянная [287,14 Дж/(кг·К)].

Подставляя значение расхода в (II.9) и затем в (II.8), получим после интегрирования следующие зависимости для определения времени наполнения постоянного объема как в надкритическом

$$t = V(Y_2 - Y_1)/(k\mu fRB^* T_m^{0,5}), \quad (II.11)$$

так и в подкритическом режиме

$$t = 2V/[(k-1)\mu fRB T_m]^{0,5} (1 - Y_1^{(k-1)/k})^{0,5} - (1 - Y_2^{(k-1)/k})^{0,5}. \quad (II.12)$$

В этих формулах значения $Y_1 = p_1/p_m$ и $Y_2 = p_2/p_m$ соответствуют начальной и конечной величинам относительного давления, причем первое уравнение (II.11) используется тогда, когда оба значения Y_1 и Y_2 меньше критического отношения давлений $Y_* = 0,528$. Если оба значения Y_1 и Y_2 больше критического Y_* , то используется второе уравнение (II.12). В тех случаях, когда наполнение начинается при давлении, меньшем критического (например, при атмосферном давлении $p_{ат}$), а заканчивается при значении давления, большем критического, т.е. $Y_1 < 0,258$ и $Y_2 > 0,528$, используются последовательно обе формулы.

Для упрощения расчетов обе формулы заменены одной, полученной при условии равенства температур в магистрали и окружающей среде ($T_m = T_{ат} = 290$ К):

$$t = 0,00362 V/(\mu f)[\varphi_1(Y_2) - \varphi_1(Y_1)], \quad (II.13),$$

где $\varphi_1(Y_1) = Y$ при $0 < Y < 0,528$;

$$\varphi_1(Y) = Y_* + \frac{2k\varphi_1(Y_*)}{k-1} (1 - Y_*^{k/k})^{0,5} - (1 - Y^{k/k})^{0,5}.$$

Для нахождения V_0 – вредного пространства с учетом объема трубопровода – на участке от цилиндра до распределителя – воспользуемся формулой

$$V_0 = V_{01} + 3,14159d_{\tau}d_{\tau}L_{\tau1}/4, \quad (\text{II.14})$$

где V_{01} – объем вредного пространства полости цилиндра; $L_{\tau1}$ – длина трубопровода от цилиндра до распределителя; d_{τ} – внутренний диаметр трубы.

Начальный объем полости противодействия

$$V_{0в} = [3,14159(D^2 - D_{ш}^2)S/4] + V_0, \quad (\text{II.15})$$

где D – диаметр поршня; $D_{ш}$ – диаметр штока; S – рабочий ход штока.

Уравнение движения двухстороннего привода с пружинным линейным ускорителем имеет вид:

$$mx'' = pF - p_{в} F_{в} - P - c(x - x_0), \quad (\text{II.16})$$

где сила $P = p_{ат}F_{ш} + P_3 + P_1 + P_2 + P_0$; $F_{в}$ – площадь поршня со стороны противодействия (выхлоп); $F_{ш}$ – площадь штока; m – масса поступательно движущихся частей; P_1 – сила вредного сопротивления; P_2 – сила полезного сопротивления (демпфирования); P_0 – сила предварительного натяжения пружины; P_3 – сила тяжести поршня и поступательно движущихся частей привода; c – жесткость пружины (член P_3 учитывается в уравнении (II.16) в случае вертикального расположения привода).

Уравнение движения поршня (II.16) должно быть решено совместно с уравнениями, характеризующими изменения давления в обеих полостях пневмопривода, т.е. с уравнением (II.6) наполнения сжатым воздухом рабочей полости и уравнением опораживания полости противодействия:

$$-kRT_{в}d\theta_{в} = kp_{в}dV_{в} + V_{в}dp_{в}. \quad (\text{II.17})$$

Решение этой системы уравнений в конечном виде является невозможным, поэтому здесь применяют приближенные методы численного интегрирования. Для этой цели удобнее уравнения (II.6), (II.16), (II.17) написать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned}
 \Delta p_i &= \frac{k}{x_{i-1}} \left[\frac{G_M R T_M}{F} - p_{i-1} x_{i-1} \right] \Delta t_i; \\
 p_i &= p_{i-1} + \Delta p_i; \\
 \Delta p_{Bi} &= \frac{k}{S_{i-1} + 2x_0 - x_{i-1}} \left[\frac{G_B R T_B}{F_B} - p_{Bi-1} x'_{Bi-1} \right] \Delta t_i; \\
 p_{Bi} &= p_{Bi-1} + \Delta p_{Bi}; \\
 x_i'' &= (p_i F - p_{Bi} F_B) / m - P / m - c(x - x_0) / m; \\
 x_i' &= x'_{i-1} + x_i'' \Delta t_i; \\
 x_i &= x_{i-1} + x'_{i-1} \Delta t_i + x_i'' \Delta t_i^2 / 2,
 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.18})$$

где G_M определяется по формуле (II.9) или (II.10); $G_B = \mu_B f_B B^* p_B / T_B^{0,5}$ при $0 < Y < 0,528$; $G_B = \mu_B f_B B^* p_B / T_B^{0,5} \varphi(Z)$ при $0,528 < Y < 1$; $T_B = = T_M (p_B / p_M)^{(k-1)/k}$.

В этих уравнениях координата x_B положения поршня со стороны полости опораживания выражена через координату x его положения со стороны рабочей полости (см. рис. II.1, с. 257):

$$x_B = S + 2x_0 - x. \quad (\text{II.19})$$

Сумма Δt_i дает время хода поршня T_2 .

Время заключительного периода T_3 может быть определено по формуле (II.13) наполнения рабочей полости.

При исследовании пневматического привода с наложением линейного пружинного ускорителя установлено, что среднее время полного хода поршня при спуске пружины (при различных жесткостях пружины, длине рабочего хода, массе перемещаемых грузов, магистральных давлениях) на 15...22 % меньше, чем то же время полного хода поршня без использования пружины.

Установлено, что сдвиг поршня с грузом может происходить при отключенном магистральном давлении только при использовании пружины с диаметром проволоки не менее 2,0 мм, жесткостью 3,91926 Н/мм, длиной пружины от 0,55 до 1,35 длины хода

поршня. При минимальной длине хода поршня пружина перемещает шток с грузом на 92 % от требуемой длины хода, а при максимальной длине хода – на 31 %.

Использование пружинного ускорителя значительно уменьшает время подготовительного периода, рабочего хода поршня и рабочее давление в магистрали в 1,5...3 раза относительно промышленного.

Разработанная конструкция пневматического привода с наложением пружинного ускорителя была применена в автоматизированном комплексе многопереходной штамповки (описан в гл. 7), что позволило увеличить его производительность на 8...10 %.

Приложение III. Расчет пневматического привода с вращательно-поступательным движением поршня

Повышение быстродействия силового двигателя за счет вращательного движения исполнительного органа в начальный момент предусматривает снижение сил трения поступательного движения, благодаря чему достигается установление сил трения движения, меньших сил статического трения.

В этом случае прямолинейное движение исполнительных органов начинается при меньшем давлении рабочей среды, что приводит к сокращению времени наполнения рабочего объема. Так как трение в уплотнительных соединениях пневмоцилиндра зависит от давления, возможность поступательного перемещения исполнительного органа при меньшем давлении рабочей среды в свою очередь способствует снижению сил трения и, следовательно, повышению быстродействия двигателя.

Силовой двигатель для осуществления этого способа представляет собой цилиндр, снабженный дополнительными двигателями с направлением движения рабочих органов перпендикулярно направлению перемещения движущихся элементов пневмодвигателя. Эти двигатели установлены в плоскостях, перпендикулярных оси силового двигателя, и связаны с ним так, чтобы обеспечить возможность поворота движущихся элементов в начальный период движения.

Простейшей моделью подвижных частей линейного пневмодвигателя с вращением является цилиндрическое тело с массой, моментом инерции I , к которому приложена осевая действующая сила P_q , вращающий момент M_q , силы трения $F_{тр, x}$, действующие в осевом направлении, и момент сопротивления от сил трения M_x (рис. III.1). Тело 1 перемещается в осевом направлении относительно неподвижного цилиндра 2 .

Введем координатный трехгранник $0\bar{X}\bar{Y}\bar{Z}$ ($\bar{X}\bar{Y}\bar{Z}$ – координаты соответствующих осей), жестко связанный с цилиндром таким образом, что ось \bar{X} совпадает с осью цилиндра. Цилиндрическое тело имеет две степени свободы: перемещение x вдоль \bar{X} и вращение на угол α вокруг \bar{X} .

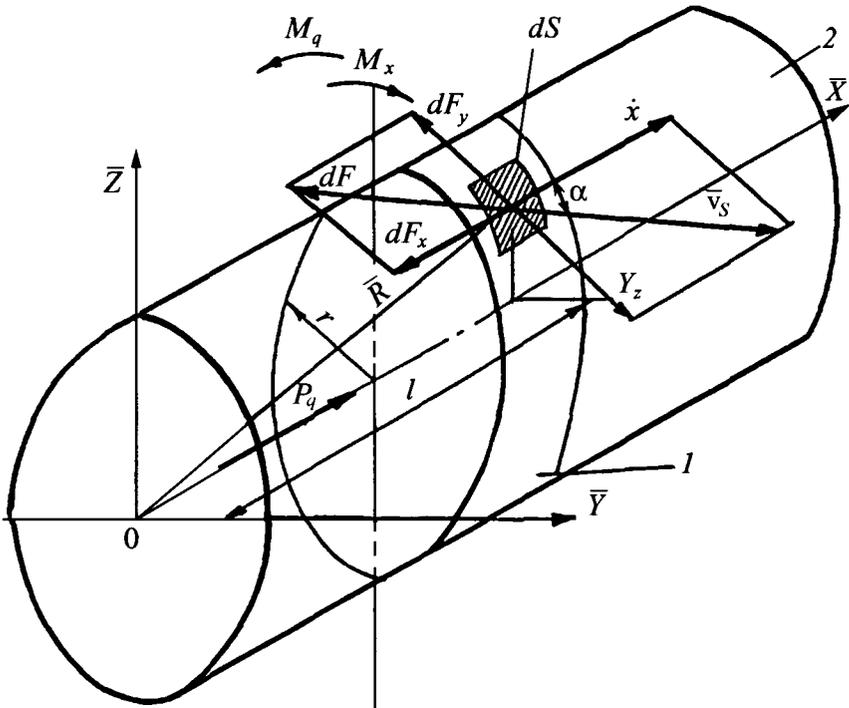


Рис. III.1. Модель подвижных частей линейного пневмодвигателя с вращением цилиндрического тела:

1 – тело вращения; 2 – неподвижный цилиндр; dS – элементарная площадка на поверхности цилиндрического тела; P_q – действующая осевая сила; M_x – вращающий момент сил сопротивления, приложенный к поршню и штоку; M_q – вращающий момент, приложенный к поршню и штоку; \dot{x} – скорость поступательного перемещения; dF_x , dF_y , dF – силы трения о цилиндр площадки dS в направлении соответствующих осей; r – радиус цилиндрического тела; \bar{R} – радиус-вектор площадки dS ; \bar{v}_S – вектор скорости центра площадки dS ; l – длина цилиндрического тела

Движение тела описывается уравнениями:

$$m\ddot{x} = p_q - F_{\text{тр}x} \quad \text{и} \quad J\ddot{\varphi} = M_q - M_x.$$

Если движущие силы в начальный момент будут превосходить силы сопротивления, то поршень со штоком известного двигателя будет перемещаться только прямолинейно, перекрывая каналы в камеру механизма поворота штока.

Трением о воздух, находящийся в полости цилиндра, пренебрегаем.

Для определения динамических параметров пневмопривода могут быть использованы известные уравнения для определения давления в рабочей и выхлопной полостях совместно с уравнениями движения поршня, составленных с учетом дополнительного вращательного движения, изменяющего величину сопротивления от трения поступательному перемещению.

В общем виде движение поршня двустороннего привода с вращением поступательно перемещающихся масс описывается системой уравнений:

$$m\ddot{x} = p_1(t)F_1 - p_2(t)F_2 - A - B, \quad (\text{III.1})$$

где

$$A = \frac{[F_{\text{он}} + 2f_n \pi r_n b_n (p_1(t) + p_2(t) - 2p_0)] \dot{x}}{\dot{x}^2 + (r_n \dot{\varphi})^2};$$

$$B = \frac{[F_{\text{ов}} + f_w \pi r_w b_w (p_1(t) + p_2(t) - 2p_0)] \dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + (r_w \dot{\varphi})^2}};$$

$$J\ddot{\varphi} = M_q - M_x \quad J\ddot{\varphi} = M_q - C - D; \quad (\text{III.2})$$

$$C = \frac{[F_{\text{он}} + 2f_n \pi r_n b_n (p_1(t) + p_2(t) - 2p_0)] r_n^2 \dot{\varphi}}{\sqrt{\dot{x}^2 + (r_w \dot{\varphi})^2}};$$

$$D = \frac{[F_{\text{ов}} + 2f_w \pi r_w b_w (p_1(t) + p_2(t) - 2p_0)] r_w^2 \dot{\varphi}}{\sqrt{\dot{x}^2 + (r_w \dot{\varphi})^2}};$$

$$p_1(t) = \frac{kf_1^3 K p_m \sqrt{RT_m}}{F_1(x_{01} + x)} \varphi(\sigma_1) - \frac{kp_1(t)\dot{x}}{x_{01} + x}, \quad (\text{III.3})$$

$$p_2(t) = \frac{kf_2^3 K p_2 \frac{3k-1}{2k} \sqrt{RT_m}}{F_2(S + x_{02} - x)p_m \frac{k-1}{2k}} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) - \frac{kp_2(t)\dot{x}}{S + x_{02} - x}. \quad (\text{III.4})$$

где $m\ddot{x}$ – сила преодоления инерционности массы подвижных частей привода; p_1 и p_2 – давление в левой и правой полостях цилиндра; p_0 – атмосферное давление; F_1 и F_2 – рабочие площади поршня в рабочей и выхлопной полостях; f_n и $f_{ш}$ – коэффициенты трения в уплотнениях поршня и штока; b_n и $b_{ш}$ – ширина уплотнений поршня и штока; r_n и $r_{ш}$ – радиусы поршня и штока; M_q – вращающий момент, приложенный к поршню и штоку; $F_{он}$ и $F_{ош}$ – начальные значения сил трения в уплотнениях поршня и штока при атмосферном давлении; x – координата перемещения поршня; \dot{x} – скорость поступательного перемещения; k – показатель адиабаты, принимаемый для воздуха, $k = 1,4$; $f_1^3 = \mu_1 f_1$; $f_2^3 = \mu_2 f_2$; f_1 ; f_2 – эффективная площадь и площадь входного и выхлопного отверстий соответственно; μ_1 , μ_2 – коэффициенты расхода, зависящие от конфигурации местного сужения потока газа и режима (см. прил. II); K – кинетическая энергия; R – газовая постоянная; T_m – абсолютная температура; S – полный ход поршня; x_{01} , x_{02} – начальные координаты положения поршня; p_m – давление в магистрали; $\dot{\phi}$ – частота вращения (угловая скорость); $Y = p/p_m$ – отношение давлений при наполнении (безразмерное давление в рабочей или выхлопной полости к магистральному давлению); $\varphi(Y) = \sqrt{Y^k - Y^{\frac{k+1}{k}}}$ – функция отношения давлений в прямой и обратной полостях для определения расхода воздуха [см. прил. II, ф-лы (II.4)–(II.19)]; $Y_1 = p_1/p_m$ и $Y_2 = p_2/p_m$ соответствуют начальной и конечной величинам относительного давления при наполнении постоянного объема; $\varphi_1(Y_1) = Y$ при $0 < Y < 0,528$ (см. прил. II); J – момент инерции.

Начальные значения сил трения в уплотнениях поршня и штока зависят от давления уплотнений p_n на сопрягаемые цилиндрические поверхности элементов пневмоцилиндра, которое для манжетных уплотнений, по опытным данным, может быть принято равным $p_n = 1,2 \dots 1,5 \cdot 10^{-3}$ Па.

Начальные $F_{он}$, $F_{ош}$ могут быть определены по зависимости

$$F_{ни} = 2p_n \pi r_i b_i f_i.$$

В уравнениях (III.1) и (III.2) принята пропорциональная зависимость сил трения от давления в рабочей и выхлопной полостях при уплотнении поршня и штока манжетами (поршень с двумя манжетами).

При других конструкциях уплотнений, например круглых резиновых кольцах, силы трения принимают независимыми от давления и их величина определяется твердостью уплотняющего кольца и его относительным сжатием. В этом случае выражения в числителях двух последних членов уравнений (III.1) и (III.2), определяющие величину сил трения, значительно упрощаются.

В общем случае движение поршня описывается решением (III.1)–(III.4). Для упрощения анализа различные значения частот вращения принимались постоянными на всем перемещении, что предполагает изменение вращающего момента M_q в процессе движения и его зависимость от значений $p_1(t)$, $p_2(t)$ от скорости поступательного перемещения. Для анализа влияния частоты вращения на быстродействие привода достаточно решить уравнение (III.1) совместно с уравнениями (III.3), (III.4), в которое подставляются различные значения угловой скорости $\dot{\phi}$. С целью нахождения граничных параметров конца подготовительного периода времени и начала движения, что необходимо для качественной оценки влияния вращения поршня, решалась совместная система уравнений с уравнением равновесия, которое может быть получено из уравнения линейного перемещения при значениях $x = x_0$; $S = 0$; $\dot{x} = 0$; $\ddot{x} = 0$.

Решение системы дифференциальных уравнений проводилось на ЭВМ методом Рунге–Кутты применительно к данным модернизированной конструкции привода горизонтального перемещения

руки ПР МП-9С, имеющего следующие конструктивные параметры: $m = 1,1 \dots 1,6$ кг; $d_{ш} = 0,022$ м; $d_n = 0,028$ м; $F_1 = F_2 = 2,25 \cdot 10^{-4}$ м²; $b_n = b_{ш} = 0,004$ м; максимальная величина рабочего хода поршня $S = 0,075$ м, начальная координата поршня, соответствующая объему полости наполнения перед началом движения, $x_{01} = 0,01$ м; $x_{02} = 0,01$ м.

В уравнения подставлялись опытные значения коэффициентов трения $f_n = f_{ш} = 0,135$; площади входного и выхлопного отверстий $f_1 = 0,5 \cdot 10^{-5}$ м, $f_2 = 0,5 \cdot 10^{-5}$ м; коэффициентов расхода $\mu_1 = 0,25$ и $\mu_2 = 0,6$.

Параметры поступательного перемещения определялись при варьировании угловой скорости $\dot{\phi}$ в пределах $0 \dots 150$ рад/с и давления в пневмомагистрале $p_m = 0,2 \dots 0,6$ МПа. Для каждого варианта расчета принимались постоянные значения $\dot{\phi}$ и p_m с целью качественной оценки их влияния на кинематические параметры.

При общей тенденции к уменьшению времени рабочего хода с увеличением угловых скоростей наблюдается более интенсивное снижение времени при меньших значениях давления, т.е. подтверждается факт повышения эффективности дополнительного вращательного движения при увеличении отношения сил сопротивления поступательному перемещению к действующим активным силам. Так, при абсолютном давлении $0,6$ МПа вращение поршня с угловой скоростью $\dot{\phi} = 150$ рад/с дает уменьшение времени рабочего хода в $1,26$ раза по сравнению с движением без вращения, а при давлении $0,3$ МПа оно уменьшается в $1,8$ раза (на $43,7\%$).

Наблюдается также большая интенсивность снижения времени в начале движения, т.е. в период разгона рабочих частей, когда осевые составляющие сил трения имеют наименьшие значения.

Можно сделать вывод о целесообразности достижения требуемого быстродействия за счет увеличения частот вращения при относительно небольших давлениях газа в рабочих полостях. При максимальном ходе поршня и изменении угловой скорости $50 \dots 150$ рад/с достигается уменьшение времени рабочего хода на $32 \dots 45\%$.

Время движения закономерно уменьшается при повышении давления, однако при дополнительном вращении поршня и штока

рабочий ход может быть совершен за то же время, что и без вращения, но при меньшем магистральном давлении. Так, по результатам расчета динамики рассматриваемого привода, рабочий ход $S = 0,075$ м, совершаемый при отсутствии вращения поршня и штока при магистральном давлении 0,6 МПа за 0,078 с, при угловых скоростях 10; 50; 100 и 150 рад/с может быть выполнен за то же время при давлениях соответственно 0,55; 4,65; 4,2 и 3,85 МПа, т.е. одно и то же быстродействие обеспечивается при меньших давлениях. При угловой скорости 150 рад/с, например, абсолютное магистральное давление можно уменьшить в 1,56 раза (36 %) или, соответственно, избыточное – в 1,75 раза (43 %).

Выше рассмотрен эффект уменьшения времени перемещения поршня и штока при придании им дополнительного вращательного движения. Особенностью пневмоприводов является наличие подготовительного периода – периода наполнения объема рабочей полости до начала движения (наполнения так называемого вредного пространства). При больших этих объемах подготовительный период может принимать большие значения, соизмеримые со временем движения поршня. Основными факторами, определяющими время подготовительного периода, являются сопротивление поступательному перемещению от сил трения в уплотнениях и противодействующие давления в выхлопной полости пневмопривода.

Приданием поршню и штоку вращательного движения, следствием которого является уменьшение сопротивления от сил трения, можно значительно сократить, а при отсутствии противодействия в выхлопной полости – устранить почти до нуля подготовительный период.

При вращении поршень со штоком перемещаются, начиная с нулевого значения избыточного магистральное давления, при отсутствии вращения – после времени подготовительного периода, составляющего 9...12 % общего времени рабочего хода. Указанное обстоятельство послужило основой разработки и реализации конструкции пневмопривода, в котором осуществлен поворот поршня со штоком вперед и в начале подключения рабочей полости к пневмомагистрали путем придания им некоторого вращающего момента за счет аккумулированной кинетической энергии подвижных частей в конце рабочего хода.

**Приложение IV. Расчет пневматического привода
с наложением магнитного ускорителя**

При ходе вперед происходит динамическое воздействие магнитов ускорителя на поршень пневмопривода. В результате поршень начинает перемещаться при меньших давлениях воздуха, что приводит к сокращению времени подготовительного периода и увеличению быстродействия пневмопривода. При ходе назад руки манипулятора происходит перемещение в направлении, противоположном силовым линиям магнитного поля.

Цикл работы пневмопривода ПР и других устройств, как правило, не является симметричным. Время хода вперед или назад определяет быстродействие и сокращение общего времени цикла. Применение магнита сокращает время хода вперед или назад и, наоборот, увеличивает соответственно время хода назад или вперед. При симметричном цикле работы пневмопривода никакого общего увеличения быстродействия (сокращения общего времени цикла) не происходит. Выигрыш можно получить только в быстродействии либо по ходу вперед, либо по ходу назад с соответствующей установкой магнита. Если при ходе вперед быстродействие увеличивается, а при ходе назад падает, но общий цикл несимметричный, то падение быстродействия при ходе назад не сказывается на общем времени цикла, а увеличение быстродействия при ходе вперед сокращает общее время цикла и производительность увеличивается.

Для решения подобного рода задач обычно вводится ряд допущений: неизменность температуры или давления в процессах, протекающих в цилиндрах ($T = T_m = T_a = \text{const}$); малость влияния теплообмена с окружающей средой и отсутствии утечек; использование приближенных формул расхода воздуха.

Уравнение движения двустороннего привода с магнитным ускорителем имеет вид:

$$mx'' = pF - p_b F_b - P \pm F_{\text{магнит}}, \quad (\text{IV.1})$$

где $P = p_a F_{\text{ш}} + P_1 + P_2$ – силы сопротивления; m – масса поступательно движущихся частей; x'' – ускорение поршня; p – абсолют-

ное давление воздуха в полости; F, F_v – площадь поршня в рабочей и выхлопной полостях; $p_{ат}, p$ и p_v – атмосферное давление, текущее давление рабочей и выхлопной полости соответственно; F_v – площадь поршня со стороны противодействия; $F_{шт}$ – площадь штока; P_1 – сила вредного сопротивления листовой заготовки; P_2 – сила тяжести поршня и поступательно движущихся частей привода в случае вертикального расположения привода; $F_{магнит}$ – сила воздействия магнитного поля (с учетом знака).

Сила вредного сопротивления P_1 появляется вследствие лобового сопротивления заготовки о воздух из-за ее статического, динамического, инерционного прогибов и вычисляется по следующей формуле:

$$P_1 = P_{ст} + P_{ад} + P_{ин}, \quad (IV.2)$$

где $P_{ст} = gm$ – статическая нагрузка; $P_{ад}$ – средняя аэродинамическая нагрузка; $P_{ин}$ – средняя инерционная нагрузка; g – ускорение свободного падения.

$$P_{ад} = q_{ад} \sin \varphi / 2, \quad (IV.3)$$

где $q_{ад} = v \rho_v S / 2$ – равномерно распределенная нагрузка; $\varphi = \arcsin(Y_{ст}(2r - Y_{ст})) / r$ – угол наклона заготовки; v, S – скорость движения и перемещение заготовки; ρ_v – плотность воздуха; $Y_{ст}$ – прогиб заготовки за счет собственной силы тяжести; r – средний радиус кривизны прогиба заготовки.

Выражения для $Y_{ст}$ и r имеют вид:

$$Y_{ст} = (qL) / (8EI); \quad (IV.4)$$

$$r = (4EI) / (qL), \quad (IV.5)$$

где $I = bh^3 / 12$ – момент инерции заготовки; $q = gm/L = gbh\rho$ – равномерно распределенная нагрузка листовой заготовки; b, L, h – ширина, длина и толщина заготовки, E – модуль упругости стали ($2 \cdot 10^5$ МПа); ρ – плотность материала листовой заготовки (7800 кг/м^3).

Инерционные силы рассчитываются по той же методике, что и силы аэродинамической нагрузки, где инерционная равномерно распределенная нагрузка вычисляется следующим образом:

$$q_{ин} = ma/L = \rho(bhLa)/L = \rho bha = \rho bha, \quad (IV.6)$$

где a – ускорение поршня.

Уравнения движения поршня (IV.1), (IV.2) должны быть решены совместно с уравнениями, характеризующими изменения давления в обеих полостях пневмопривода наполнения сжатым воздухом рабочей полости и уравнением опораживания полости привода давления (II.17).

Температура в процессах, протекающих в цилиндрах, принимается постоянной, а влияние теплообмена с окружающей средой и наличие утечек не учитывается.

Решение системы уравнения (IV.1), (IV.2) в конечном виде невозможно, поэтому здесь применялись приближенные методы численного интегрирования. Для этой цели удобнее эти уравнения написать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \Delta p_i &= \frac{k}{x_{i-1}} \left[\frac{G_m R T_m}{F} - p_{i-1} x_{i-1} \right] \Delta t_i; \\ p_i &= p_{i-1} + \Delta p_i; \\ \Delta p_{vi} &= \frac{k}{S_{i-1} + 2x_0 - x_{i-1}} \left[\frac{G_v R T_v}{F_v} - p_{vi-1} x'_{vi-1} \right] \Delta t_i; \\ p_{vi} &= p_{vi-1} + \Delta p_{vi}; \\ x_i'' &= \frac{p_i F - p_{vi} F_v}{m} - \frac{P}{m} - \frac{F_{\text{магнит}} (x - x_0)}{m}; \\ x_i' &= x'_{i-1} + x_i'' \Delta t_i; \\ x_i &= x_{i-1} + x'_{i-1} \Delta t_i + x_i'' \Delta t_i^2 / 2. \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV.7})$$

где $k = \frac{V_0}{F}$ — коэффициент, равный отношению начального объема полости цилиндра к площади поршня; Δp_i — изменение давления в полости на i -м шаге; R — газовая постоянная; T_m — температура в магистрали, равная 290 К; G_m — расход воздуха, поступающего из магистрали в рабочую полость привода; p_i — давление воздуха в рабочей полости; $p_{\text{ат}}$ — атмосферное давление; $\alpha x'$ — величина, учитывающая демпфирование при утечке воздуха между поршнем и стенками цилиндра (принимается равным 0); $F_{\text{магнит}}$ — сила воздей-

ствия магнитного поля; S – рабочий ход поршня; m – масса всех поступательно движущихся частей; x'' – ускорение поршня; x' – скорость поршня; x – перемещение поршня.

При исследовании пневматического привода с наложением магнитных ускорителей установлено, что уменьшение времени подготовительного периода и движения поршня с использованием и без использования магнитов составляет соответственно 19,5 и 7,99 %.

Получены результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые подтвердили факт увеличения быстродействия пневмопривода с наложением магнитного ускорителя при ходе вперед, что в итоге приводит к повышению производительности в среднем на 10...15 %.

**Приложение V. Расчет пневматического привода
с вибрационным сервоприводом**

Достаточно эффективным методом снижения трения, возникающего между контактирующими деталями, одна из которых совершает поступательное и вращательное движения, является использование различных устройств, вызывающих вибрацию подвижной детали. К достоинствам таких устройств относится высокая разрешающая способность по перемещению, отсутствие влияния паразитных электрических или магнитных полей, широкий температурный диапазон, а также хорошие динамические свойства.

Существует несколько основных типов вибрационных приводов. Среди них наиболее интересны схемы, в которых двумерное движение активного элемента (колеблющегося звена) может формироваться не только совокупностью продольных колебаний по взаимно перпендикулярным осям, но и любой комбинацией продольных, поперечных, радиальных, изгибных, крутильных и сдвиговых колебаний.

Для создания возвратно-поступательных движений бойка вибропривода можно использовать схемы, представленные на рис. V.1, *а-в*:

а) пружинная однокатушечная, где перемещение бойка в одну сторону осуществляется электромагнитными силами катушки K , а в другую – силами упругости пружин;

б) двухкатушечная, где рабочий ход совершается под действием электромагнитных сил катушки K_1 и сил упругости пружины, а холостой ход под действием электромагнитных сил катушки K_2 ;

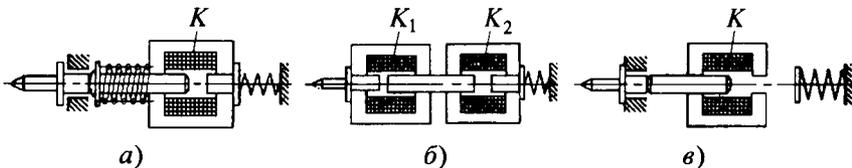


Рис. V.1. Схема вибрационного сервопривода:

а – пружинная однокатушечная; *б* – двухкатушечная;

в – со свободным выбегом бойка

в) со свободным выбегом бойка, где перемещение бойка в сторону пружины до положения магнитного равновесия идет под действием электромагнитных сил катушки K , а в обратную сторону – этими же силами вместе с силами упругости пружины.

В Московском государственном университете приборостроения и информатики на кафедрах «Технологии приборостроения» и «Управление и моделирование систем» была разработана конструкция пневмопривода горизонтального перемещения руки промышленного робота типа МП-9С с вибрационным сервоприводом, представленная на рис. V.2.

Для создания колебаний определенной частоты и амплитуды с целью снижения трения покоя и стабилизации коэффициента трения движения применяют механизм (см. рис. V.2) благодаря его явным конструктивным преимуществам по отношению к другим схемам.

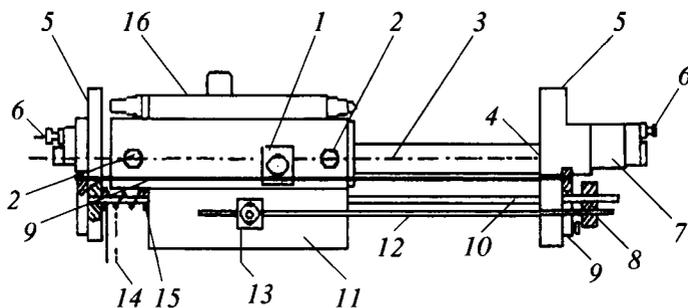


Рис. V.2. Рука робота МП-9С (вид сверху):

1 – потенциометр постоянного напряжения для ходографа; 2 – переходники для датчиков давления; 3 – направляющая струна ходографа; 4 – шток; 5 – упор; 6 – винты крепежа упоров; 7 – вибровозбудитель; 8 – соединитель между 10 и 12; 9 – планка для крепежа направляющей ходографа с упором штока; 10 – направляющая штока; 11 – пресс-масленка; 12 – направляющая фиксации пружины; 13 – механизм фиксации пружины; 14 – пружина; 15 – кольцо-губка для фиксации пружины; 16 – демпфер

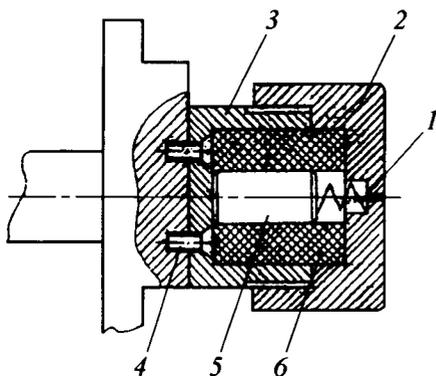


Рис. V.3. Схема вибровозбудителя (см. поз. 7 на рис. V.2):

- 1 – пружина; 2 – крышка;
3 – корпус; 4 – крепежные винты;
5 – боек; 6 – катушка

Вибровозбудитель руки робота (позиция 7 на рис. V.2) более подробно представлен на рис. V.3. Корпус вибровозбудителя 3 крепится винтами 4 к основному упору робота. При подключении катушки 6 к электрической сети боек 5 начинает совершать движения в сторону крышки 2, а пружина 1 возвращает его обратно, тем самым обеспечивая возвратно-поступательное движение бойка. Вибрационное воздействие передается поршню-штоку, а также уплотнительным манжетам. При этом происходит разрушение адгезионных «мостиков», возникших между штоком и уплотнительными манжетами в результате образования точек соприкосновения за счет взаимного внедрения микронеровностей взаимодействующих поверхностей, что ведет к снижению силы трения.

Уравнение движения двустороннего привода с вибрационным сервоприводом имеет вид:

$$mx'' = pF - p_v F_v - P \pm F_{тр} + Q, \quad (V.1)$$

где $P = p_a F_{ш} + P_1 + P_2$ – силы сопротивления; m – масса поступательно движущихся частей; x'' – ускорение поршня; F , F_v – площадь поршня в рабочей и выхлопной полостях; p_a , p и p_v – атмосферное давление и текущее давление рабочей и текущее в выхлопной полости соответственно; P_1 – сила вредного сопротивления заготовки; P_2 – сила тяжести поршня и поступательно движущихся частей привода в случае вертикального расположения привода; $F_{тр}$ – сила трения; Q – возмущающее усилие вибровозбудителя:

$$Q = \frac{4\pi^2 v_b^2 m A k_v}{\lambda},$$

где v_b^2 – частота вынужденных колебаний сервопривода; k_v – коэффициент, выбираемый от вида нагрузки; A – амплитуда колебаний сервопривода; λ – динамический коэффициент.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{1}{k_v^2}\right)^2 + \frac{0,07}{\pi^2 k_v^3 v_b}}}. \quad (V.2)$$

Сила трения покоя, отнесенная к единице площади соприкосновения:

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} S p,$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения покоя принимаем равным 0,135; S – площадь контакта; p – давление атмосферы.

Время перемещения поршня и давление в рабочей полости можно определить из совместного решения уравнений (V.1) и (V.2).

На основе этих зависимостей для малых промежутков времени и участков интегрирования исходную систему уравнений можно представить в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \Delta p_i &= \frac{k}{x_{i-1}} \left[\frac{G_m R T_m}{F} - p_{i-1} x_{i-1} \right] \Delta t_i; \\ p_i &= p_{i-1} + \Delta p_i; \\ \Delta p_{bi} &= \frac{k}{S_{i-1} + 2x_0 - x_{i-1}} \left[\frac{G_b R T_b}{F_b} - p_{bi-1} x'_{bi-1} \right] \Delta t_i; \\ p_{bi} &= p_{bi-1} + \Delta p_{bi}; \\ x_i'' &= \frac{p_i F - p_{bi} F_b}{m} - \frac{Q}{m} - \frac{F_{\text{тр}}}{m}; \\ x_i' &= x'_{i-1} + x_i'' \Delta t_i; \\ x_i &= x_{i-1} + x'_{i-1} \Delta t_i + x_i'' \Delta t_i^2 / 2, \end{aligned} \right\} \quad (V.3)$$

где $k = \frac{V_0}{F}$ – коэффициент, равный отношению начального объема полости цилиндра к площади поршня; Δp_i – изменение давления в полости на i -м шаге; R – газовая постоянная; T_m – температура в магистрали, равная 290 К; G_m – расход воздуха, поступающего из магистрали в рабочую полость привода; G_v – расход воздуха в выхлопной полости привода; p_{vi} – давление воздуха выхлопной полости цилиндра; $\alpha x'$ – величина, учитывающая демпфирование при утечке воздуха между поршнем и стенками цилиндра (принимается равным 0); $F_{тр}$ – сила трения; Q – возмущающее усилие вибровозбудителя; S – рабочий ход поршня; m – масса всех поступательно движущихся частей; x'' – ускорение поршня; x' – скорость поршня; x – перемещение поршня; i – число шагов интегрирования.

Экспериментальная проверка разработанного пневматического привода показала, что использование вибрационного сервопривода позволяет увеличить быстродействие ПР на 20...25 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белянин П.Н.** Кинематические схемы, системы и элементы промышленных роботов. М.: Машиностроение, 1992. 191 с.
2. **Бушуев В.В.** Практика конструирования машин: справочник. М.: Машиностроение, 2006. 448 с.
3. **Васильев В.Н.** Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. М.: Машиностроение, 1986. 312 с.
4. **Гибкая** производственная система фирмы Finn-Power на выставке ЕМО. Finn-Power. GraMetal. 2003. N 76. Ч. 2. С. 58.
5. **Гибкие** производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы: в 14 кн. / под ред. Б.И. Черпакова. М.: Высш. шк., 1989.
6. **Гурычев С.Е., Бажанов В.М.** (Головное конструкторское бюро "Станкосистема"). Опыт работы Ивановских заводов тяжелого станкостроения по внедрению высокоскоростных гибких технологий в машиностроении. ИТО: Инструм.-технол.-оборуд. 2005. № 5. С. 9.
7. **Иванов А.А.** Гибкие производственные системы в приборостроении. М.: Машиностроение, 1988. 304 с.
8. **Козырев Ю.Г.** Промышленные роботы: справ., 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1988. 304 с.
9. **Михайлова Л.В.** Особенности развития российских машиностроительных предприятий на основе гибких производственных систем. Науч. тр. МАТИ – Рос. гос. технол. ун-т. 2004. № 7. С. 347–351.
10. **Мысловский Э.В.** Промышленные роботы в производстве радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1988. 224 с.
11. **Попов Е.П., Письменный Г.В.** Основы робототехники. Введение в специальность: учеб. для вузов по спец. "Робототехнические системы и комплексы". М.: Высш. шк., 1990. 224 с.

12. **Проектирование** и разработка промышленных роботов / С.С. Аншин, Ф.В. Бабич, Ф.Г. Баранов и др.; под общ. ред. Я.А. Шифрина, П.Н. Белянина. М.: Машиностроение, 1989. 272 с.
13. **Скворцов Д.А., Скворцов А.В.** Принципы создания производственных систем автоматизированной сборки // Проблемы машиностроения и надежность машин. 2006. № 1. С. 52–59.
14. **Холин К.М., Никитин О.Ф.** Основы гидравлики и объемные гидроприводы: учеб. для учащихся средних спец. учеб. завед. 2-е изд., перераб и доп. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
15. **Юревич Е.И.** Управление роботами и робототехническими системами: учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. 167 с.
16. **Юревич Е.И.** Основы робототехники. 2-е изд. БХВ-Петербург, 2007. С. 416.
17. **Ямпольский Л.С., Калин О.М., Ткач М.М.** Автоматизированные процессы технологической подготовки робототехнического производства: учеб. для вузов / под общ. ред. Л.С. Ямпольского. Киев.: Вища шк., 1987. 270 с.
18. **Интеллектуальные роботы:** учеб. пособ. для вузов / под общ. ред. Е.И. Юревича / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Выжигин Александр Юрьевич

ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Редактор *Г.Н. Сидорова*

Переплет художника *Т.Н. Галицыной*

Корректор *М.Я. Барская*

Инженер по компьютерному
макетированию *Н.И. Смольянина*

Сдано в набор 10.09.2008 г. Подписано в печать 23.04.2009 г. Формат 60 × 88 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 17,64. Уч.-изд. л. 18,2.

Тираж 500 экз. Заказ 707

ООО "Издательство Машиностроение",
107076, Москва, Стромьинский пер., 4. www.mashin.ru

Оригинал-макет изготовлен в ООО "Издательство Машиностроение"

Отпечатано в ГУП ППП "Типография "Наука" РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 978-5-94275-434-1



9 785942 754341

ВНИМАНИЕ!

В «Издательстве «Машиностроение» можно заказать следующую учебную литературу:

1. *Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов.* 2-е изд., 2007. – 380 с. Цена 308 руб. с НДС.
2. **Интеллектуальные роботы.** Колл. авт. Каляев И.А. и др. Под ред. Е.И. Юревича. 2007. – 360 с. Цена 495 руб. с НДС.
3. *Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение.* 2-е изд., 2007. – 256 с. Цена 264 руб. с НДС.
4. *Распопов В.Я. Микромеханические приборы.* 2007. – 400 с. Цена 550 руб. с НДС.
5. *Головин Ю.И. Введение в нанотехнику.* 2007. – 496 с. Цена 495 руб. с НДС.

Заявки по безналичному расчету необходимо направлять в отдел реализации и подписки:

по почте: 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4; **факсу:** (499) 269 48 97;
E-mail: realiz@mashin.ru

с указанием следующих данных:

- название книги, количество экземпляров
- название организации, почтовый и юридический адреса
- ИНН, КПП, ОКПО, ОКВЭД, банковские реквизиты
- телефон (с кодом города), факс, E-mail
- ФИО контактного лица
- способ доставки (почтовые бандероли, самовывоз, доставка до транспортной компании). Для Москвы и Московской области – только самовывоз.

Тел. отдела реализации (499) 269 66 00, 269 52 98

Книги можно приобрести за **наличный расчет** на складе издательства.

Проезд: ст. м. «Сокольники», далее трол. 14, 32, 41, авт. 265, 716, трам. 7 до ост. «Ул. Короленко»

Тел. склада (499) 268 69 00