

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

И. Н. ЖЕЛТОВ, В. А. ЗВЯГИНЦЕВ

ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ И ГАП

Учебное пособие

КУЙБЫШЕВ 1989

Желтов И. Н., Звягинцев В. А. *Основы промышленной робототехники и ГАП: Учеб. пособие / Куйбыш. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. 56 с.*

В пособии рассматриваются основные понятия и определения промышленных роботов, их классификация и конструктивное исполнение, даются основные схемы применения промышленных роботов в робототехнических комплексах, приводятся данные по их применению в производстве. Освещаются основные положения концепций гибкого автоматизированного производства (ГАП) и интегрированных производственных комплексов, дается представление об особенностях технологического оборудования, автоматическом транспорте и автоматических складах, системах автоматического контроля и управления ГАП.

Пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов дневной и вечерней формы обучения, изучающих курс «Механизация и автоматизация технологических процессов и ГАП».

Ил. 13. Библиогр.: 10 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета института

Рецензенты: Я. П. Огуз, А. И. Ив а н о в

* * *

Центральный комитет КПСС и Советское правительство уделяют постоянное внимание дальнейшей автоматизации различных отраслей народного хозяйства. Эта задача может быть решена путем коренного технического переоснащения промышленных предприятий на базе комплексной автоматизации технологических процессов с широким применением высокопроизводительного оборудования и вычислительной техники. Большую роль в техническом перевооружении предприятий играют промышленные роботы (ПР), на базе которых можно формировать робототехнические комплексы (РТК), предназначенные в свою очередь для встраивания в гибкие автоматизированные участки, линии и производства.

Области применения ПР постоянно расширяются. ПР используют для автоматизации как основных, так и вспомогательных операций в условиях различной серийности производства (от мелкосерийного до массового). Как показывает опыт, комплексное применение ПР обеспечивает повышение производительности труда в среднем в 1,5—2 раза, сменность работы оборудования в 1,5—1,8 раза, а также существенно улучшает ритмичность и общую культуру производства, открывает путь для перехода к новым формам организации производственных процессов, характеризуемых минимальным участием человека, к так называемым «безлюдным технологиям».

Наилучшим образом всем требованиям такой прогрессивной технологии удовлетворяет гибкое автоматизированное производство (ГАП), к которым относятся не только автономно функционирующие единицы технологического оборудования, но и их совокупности с системами, обеспечивающими автоматическое функционирование и автоматизированную переналадку оборудования при производстве изделий широкой номенклатуры.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В СССР промышленная робототехника начала развиваться с конца 60-х годов. В 1971 г. работали первые два опытных образца отечественных промышленных роботов (ПР): робот УМ-1, созданный под руководством П. Н. Белявина и Б. Ш. Розина, и робот «Универсал 50», созданный под руководством Б. Н. Сурпина; робот УМ-1 с числовым программным управлением (ЧПУ) был первым отечественным роботом, выпускавшимся серийно в 1972 — 1974 гг.

Созданию первых ПР предшествовали большие научные исследования и конструкторские разработки. Большой вклад в разработку теоретических проблем робототехники внесли советские ученые: академик И.И. Артоболевский, члены-корреспонденты АН СССР Д. Е. Охоцимский и Е. Н. Попов, а также известные наши ученые и специалисты Е. И. Юревич, М. Б. Игнатъев, Д. А. Поспелов, Г. Н. Рапопорт, Г. А. Спыну, В. С. Гурфицкель, Н. А. Лакота, В. С. Кулешов, Ф. М. Кулаков, В. С. Ястребов, Е. Г. Нахапетян, В. С. Рыбак, М. С. Ворошилов, А. К. Платонов, А. П. Бессонов, А. М. Покровский, Б. Г. Аветиков, А. И. Корендясев, Ю. Г. Козырев и др.

Слово *робот* было придумано чешским писателем К. Чапек и образовано от слова *robot*, что означает тяжелый физический труд; у Чапека робот — это искусная в работе машина с человекоподобным поведением, которая частично выполняет функции человека при взаимодействии с окружающим миром (машина, которая умеет работать и не умеет мыслить). Робот в современном понятии — это в какой-то степени «думающая» машина, имеющая функциональные перемещения, схожие с перемещениями конечности человека, и обладающая способностью распознавать команды автономного управления и двигаться в соответствии с ними.

По назначению роботы можно разделить на следующие три группы:

1. Промышленные роботы, предназначенные для работы в промышленности, прежде всего в машиностроении, в сельском хозяйстве, энергетике, металлургии, на транспорте, в шахтах, в строительстве и других производственных сферах народного хозяйства.

2. Бытовые роботы и роботы сферы обслуживания, выполняющие различные функции в торговле, на предприятиях бытового обслуживания и сервиса, в домашнем хозяйстве.

3. Роботы для научных исследований в космосе, в глубинах океана, под землей, т. е. в условиях, где пребывание человека связано с опасностью для жизни и невозможно.

Подавляющее большинство современных роботов — промышленные роботы, первыми нашедшие широкое применение на практике. В ГОСТ 25686 — 85 и 26228 — 85 дано следующее определение ПР: «Промышленным роботом называется автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций».

Несколько отличное, но близкое по смыслу, определение ПР дает Международная организация по стандартизации: «Промышленным роботом называется перепрограммируемое устройство с задаваемой позицией, многофункциональный манипулятор, имеющий несколько степеней свободы и способный перемещать материалы, детали, инструменты или специальные устройства, производя различные запрограммированные движения для выполнения различных задач». Определения ПР, принятые в Великобритании и США, практически идентичны.

В стандарте Японии понятие ПР трактуется шире. В частности, в ПР включены устройства типа управляемых вручную автооператоров: «Механическая система, выполняющая гибкие двигательные функции, аналогичные двигательным функциям живых организмов, или сочетающая такие двигательные функции с разумными функциями и подчиняющаяся человеческой воле». В данном определении под «разумными функциями» подразумевается способность производить по крайней мере одно из следующих действий: оценка, распознавание, адаптация или восприятие.

Таким образом, общепринятого определения ПР пока нет. Давая определение ПР, нельзя оставить в стороне понятие о

манипуляторе. Слово манипулятор (от французского *manipulateur*) через латинское *manipulus* (горсть) восходит к латинскому слову *manus* — рука. Для манипулятора имеется общепринятое определение. Манипулятор — это устройство, дистанционно управляемое оператором или программным устройством, содержащее рабочий орган, который предназначен для имитации перемещений и рабочих функций кисти руки оператора. Манипуляторы для производственных процессов с автоматическим (программным) управлением в последнее время стали называть ПР. Такое определение ПР нельзя считать полным, так как в нем не отражено главное назначение робота, заключающееся в способности воспроизводить движения рабочего органа человека — руки — с целью замены человека на ручных технологических операциях (хотя в таком определении и содержится понятие манипуляции).

В настоящее время ПР принято делить на три группы (поколения). Роботы *первого поколения* (на практике применяются пока только они) работают по жесткой программе. К первому поколению ПР относятся давно и достаточно широко применяемые механические руки и роботы с системами ЧПУ. Эти роботы применяют для выполнения сравнительно простых производственных задач (транспортирование деталей, укладка их, сварка, окраска и т. п.); при этом требуется жесткий порядок на входе в систему (ориентирование деталей в исходном положении), а также различные защитные блокировки. Управление роботами первого поколения выполняется по разомкнутой или по замкнутой схеме, когда рука робота и устройство его перемещения в пространстве, т. е. все звенья кинематической цепи манипулятора (рис. 1), оснащаются датчиками положения этих звеньев. Управляющее воздействие во всех случаях поступает от системы управления робота на приводы, которые приводят в движение все звенья кинематической цепи манипулятора и захватное устройство в соответствии с поставленной производственной задачей. Роботы первого поколения не могут адаптироваться к окружающей обстановке. Для их нормального функционирования требуется специальная ориентирующая оснастка, в которой нет необходимости у роботов второго и третьего поколения.

В настоящее время создаются адаптивные ПР *второго поколения*, работающие по гибкой программе, для чего их оснащают датчиками внешней среды (сенсорными датчиками), т. е. «осязывают», а для управления применяют кроме развитых систем ЧПУ еще и ЭВМ (прежде всего микроЭВМ и микропроцессоры). Более высокое конструктивное совершенство роботов второго поколения (по сравнению с роботами первого поколения)

позволит использовать их для сложных производственных задач.

Большую часть современных задач производства смогут решать ПР *третьего поколения* — интегральные или интеллектуальные роботы. Они будут способны полностью адаптироваться к условиям работы и производства, для чего их необходимо оснащать элементами интеллекта (системами искусственного интеллекта). Управление такими роботами и системами, составленными из них, будет осуществляться от совершенных ЭВМ или систем ЭВМ, при этом будет широко применяться эвристическое программирование, когда человек программирует только цель действия робота, а сами действия и их порядок программирует для себя робот.

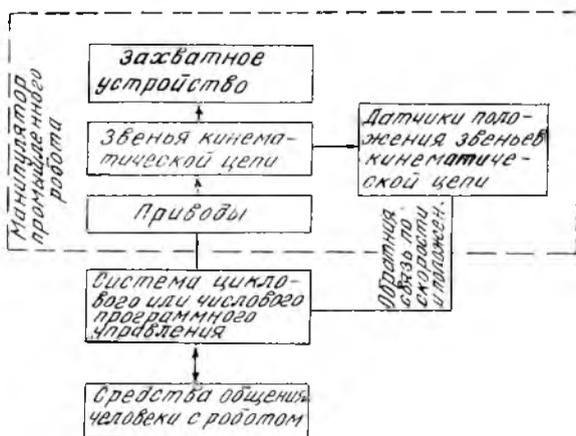


Рис. 1. Структурная схема ПР первого поколения

По структурной схеме роботы второго и третьего поколения отличаются мало, так как и те и другие воспринимают информацию о внешней среде с помощью сенсорных датчиков, например тактильных или видеодатчиков (телеглаз), и используют ее при реализации требуемой программы движений (рис. 2). Различие состоит главным образом в том, что роботы третьего поколения самообучаются, а роботы второго поколения — нет, а также в том, что объем информации об окружающей обстановке, поступающей в систему управления по каналу прямой связи, у роботов третьего поколения больше, чем у роботов второго поколения. Для работы робота третьего поколения необходимо,

чтобы человек-оператор с помощью средств общения ввел в управляющую ЭВМ (мощный вычислительный комплекс робота) конечную цель производственного процесса, а все решения принимаются и выполняются автоматически, без участия человека. У роботов второго поколения информативно менее мощная система управления, которая вырабатывает и принимает небольшое число решений на основе введенных человеком алгоритмов поиска объектов, распознавания образов и адаптации. Первые роботы второго поколения начнут применяться, видимо, с начала 90-х годов; роботы третьего поколения появятся на производстве позднее.

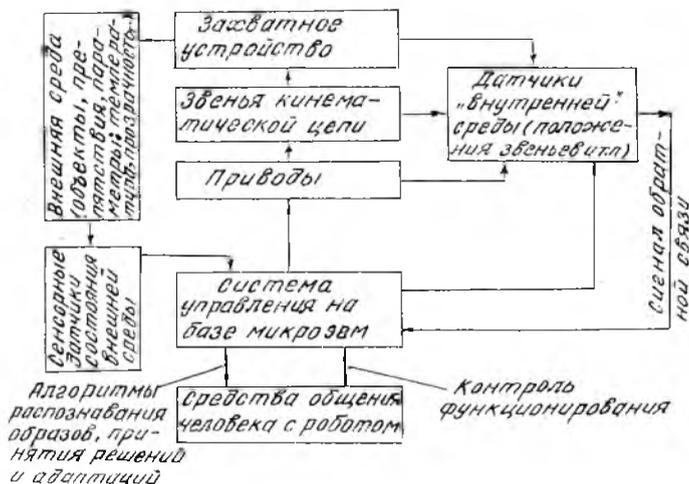


Рис. 2. Структурная схема ПР второго поколения

Интенсивное внедрение ПР в настоящее время и в перспективе обусловлено рядом причин. Во-первых, в ближайшие десятилетия в промышленности не будет прироста силы, в связи с чем увеличение выпуска продукции будет обеспечиваться за счет внедрения новой техники и технологий. Во-вторых, внедрение ПР дает существенное сокращение доли ручного, тяжелого и монотонного труда; в-третьих, большой экономический эффект.

Автоматизация производства является одним из самых существенных рычагов повышения производительности труда. Широкое использование ПР как элемента автоматизации производства обеспечит решение этой задачи в первую очередь в серийном и мелкосерийном производстве. Однако ПР — всего лишь одно из многих возможных средств автоматизации произ-

водственных процессов. Они создают предпосылки для перехода к качественно новому уровню автоматизации — созданию автоматизированных систем, работающих с минимальным участием человека.

Одним из основных преимуществ ПР является возможность быстрой переналадки для выполнения операций с другой последовательностью и характером манипуляционных действий, поэтому применение ПР наиболее эффективно в условиях частой смены объектов производства, а также для автоматизации ручного неквалифицированного труда.

Современный уровень развития робототехники характеризуется значительным повышением надежности механических узлов и устройств управления, простотой программирования и обслуживания, снижением требований к вспомогательному технологическому оборудованию за счет придания ПР адаптивных свойств.

За период 1970—1980 гг. общий парк ПР в мире вырос в 40 раз. По данным Ассоциации роботов Великобритании, на 1 декабря 1984 г. парк ПР только в капиталистических странах составил уже 47838 экземпляров. При этом расширилась область применения и выполняемых функций ПР. Их разработкой и изготовлением во всем мире занято более 300 фирм и организаций, которыми создано около 600 моделей ПР, причем примерно 150 моделей создано в странах СЭВ.

Предполагается, что в дальнейшем применение ПР будет расширяться за счет сочетания в рамках гибких производственных систем традиционно выполняемых функций ПР с другими функциями автоматизированных систем управления технологическими процессами и систем автоматизированного проектирования. Применение ПР (особенно в сочетании с ЭВМ) позволяет:

- ликвидировать нехватку рабочей силы и сократить затраты на нее (в среднем вдвое);

- повысить производительность оборудования и труда рабочих;

- улучшить условия и безопасность труда рабочего при одновременном повышении его интеллектуального уровня, повысить культуру производства;

- избавить рабочих от многих монотонных, часто повторяющихся, неинтересных, утомительных, а также вредных и опасных для здоровья и жизни рабочих операций и работ;

- выполнять работы в труднодоступных или недоступных для человека местах и условиях (работа на морском дне, в космическом пространстве, в условиях высоких температур и ограниченной видимости и т. п.);

улучшить качество выпускаемой продукции за счет оптимизации и автоматизации технологических процессов и улучшения контроля материалов и деталей;

уменьшить брак (за счет уменьшения субъективного фактора) и отходы производства, а следовательно, снизить себестоимость продукции;

оптимизировать загрузку технологического оборудования, сократить или полностью ликвидировать его простои, а также уменьшить до минимума технологический цикл различных производств;

повысить коэффициент использования технологического оборудования в результате повышения коэффициента сменности его работы (без привлечения во вторые смены большого числа рабочих и наладчиков), а также вследствие интенсификации режимов работы и обработки;

автоматизировать работу значительной части морально устаревшего оборудования (прессов, молотов, станков и пр.) благодаря использованию системы программного управления робота для управления технологическим оборудованием;

создавать и осваивать новые технологические процессы, принципиально не реализуемые при участии человека;

сократить сроки освоения новой продукции, особенно в случае применения универсальных ПР, не требующих специальных средств автоматизации и полной замены при смене объекта производства.

Применение ПР показало, что они позволяют увеличить сменность работы оборудования в 2 раза, производительность труда в 1,5—2 раза, а на некоторых операциях в 4—6 раз. Внедрение одного ПР дает экономический эффект от 6 до 12 тыс. руб. в год, а окупаются они, как правило, за 2—2,5 года.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПР

Классификация ПР по различным существенным для разработки типажа признакам представлена на рис. 3. По характеру выполняемых операций все ПР подразделяют на три группы, имеющие различные производственно-технологические признаки.

1. Технологические ПР выполняют основные операции технологического процесса. Они непосредственно участвуют в технологическом процессе в качестве производящих или обрабатывающих машин, выполняющих такие операции, как гибка, сварка, окраска, сборка и т. п.

2. Вспомогательные ПР выполняют действия типа взять — перенести — положить. Их применяют при обслуживании основ-

ного технологического оборудования для автоматизации вспомогательных операций установки-снятия заготовок, деталей и инструмента, очистки баз деталей и оборудования, питания транспортеров, а также на транспортно-складских и других операциях.

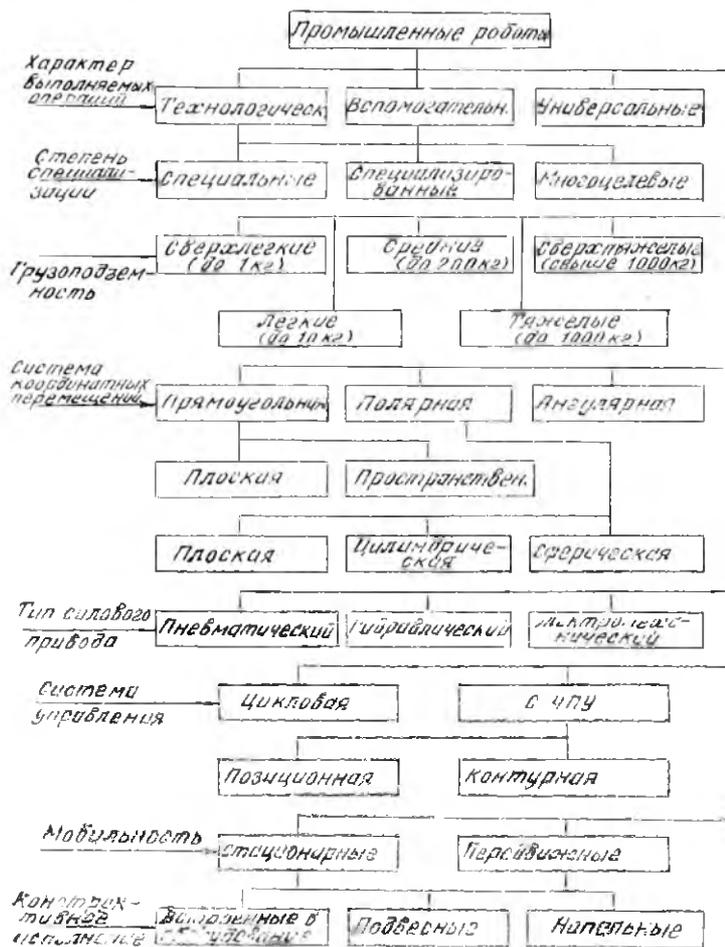


Рис. 3. Классификация ПР

3. Универсальные ПР выполняют разнородные технологические операции — основные и вспомогательные, т. е. они сочетают в себе признаки первых двух групп. Надо отметить, что

данный термин характеризует ПР как по характеру выполняемых операций, так и по степени специализации.

По степени специализации технологические и вспомогательные ПР подразделяют на специальные, специализированные и многоцелевые. Функциональные возможности специального ПР позволяют ему выполнять определенную технологическую операцию или обслуживать конкретную модель основного технологического оборудования.

Специализированные ПР предназначены для выполнения технологических операций одного вида (сварка, окраска, сборка, штабелирование и т. п.) или для обслуживания широкой номенклатуры моделей основного технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий. Многоцелевые ПР предназначены для выполнения различных основных или вспомогательных операций, в том числе и требующих разнотипных приемов для своего исполнения. Если ПР может выполнять и основные и вспомогательные операции, он относится к числу универсальных.

По грузоподъемности ПР делятся на роботы малой (сверхлегкие до 1 кг и легкие до 10 кг), средней (средние до 100 кг) и большой (тяжелые до 1000 кг и сверхтяжелые свыше 1000 кг) грузоподъемности. *Грузоподъемность ПР* — наибольшая масса объектов манипулирования (включая массу захватного устройства), которые могут перемещаться рукой при заданных условиях (при максимальной или минимальной скорости, при максимальном вылете руки и т. п.).

В настоящее время выпускаемые в мире ПР можно квалифицировать по виду системы координат (прямоугольная, полярная и ангулярная), в которой работает его исполнительное устройство. Система координат перемещений исполнительного устройства ПР определяет кинематику его основных движений и форму рабочей зоны.

В *прямоугольной системе координат* (плоская и пространственная) объект манипулирования помещается в определенную точку пространства путем прямолинейных перемещений звеньев механической системы ПР по трем (или двум) взаимно перпендикулярным осям.

В *полярной системе координат* применяются плоские полярные (перемещение объекта происходит в одной координатной плоскости в направлении радиус-вектора r и угла φ); цилиндрические, характеризующиеся перемещением объекта в основной координатной плоскости в направлениях r и φ , а также по нормали к ней z ; сферические полярные, где перемещения объекта манипулирования в пространстве осуществляются за счет

линейного движения руки ПР на величину r и ее угловых перемещений φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

В последнее время все большее распространение получают ПР, у которых исполнительное устройство выполнено по плечелоктевой схеме, работающей в ангулярной системе координат. Такая схема при меньших габаритных размерах исполнительного устройства позволяет получить большую рабочую зону.

В *ангулярной плоской системе координат* объект манипулирования перемещается в координатной плоскости благодаря относительным поворотам имеющих постоянную длину звеньев руки. Ангулярная цилиндрическая система характеризуется дополнительным смещением относительно основной координатной плоскости в направлении перпендикулярной к ней координаты z . В ангулярной сферической системе координат перемещение объекта в пространстве происходит только за счет относительных угловых поворотов звеньев руки, при этом хотя бы одно звено имеет возможность поворота на углы φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

В ПР используются гидро-, пневмо- и электроприводы. Гидроприводы применяются в ПР грузоподъемностью свыше 15 кг. В настоящее время эти приводы имеют наибольшее значение мощности на единицу веса, компактны и достаточно легко встраиваются в узлы ПР. Вместе с тем, им присущи следующие недостатки: повышенная энергоемкость, необходимость в гидростанции и большом наборе дополнительных элементов гидроаппаратуры (фильтров, дросселей, клапанов, трубопроводов и др.), утечка рабочей жидкости, дополнительная аппаратура электроавтоматики. Широкому применению пневматического привода в ПР в настоящее время способствуют его высокое быстродействие, относительная простота конструкции и эксплуатации, меньшая по сравнению с другими приводами стоимость. К недостаткам относится сложность обеспечения плавного разгона и торможения, а также следящего за позицией режима.

В последнее время наиболее перспективным для ПР признается электропривод. Современные электроприводы базируются на широком применении специализированных электрических машин и электромеханических устройств, элементов диагностики, узлов полупроводниковой преобразовательной техники и электроники.

Легкость регулирования в широком диапазоне скоростей, бесшумность, отсутствие трубопроводов, простота монтажа и палладки, достаточно высокие показатели надежности выгодно

отличают электропривод от других типов приводов для ПР. Недостатком электропривода является относительно низкий показатель мощности на единицу массы, что сдерживает его применение в ПР грузоподъемностью выше 40—60 кг.

По системе управления ПР разделены на три класса: цикловые, позиционные и контурные.

Цикловые системы управления — простейшие средства управления ПР с ограниченными манипуляционными возможностями и технологическим оборудованием с низкой степенью автоматизации. Они обеспечивают преимущественно двух- или трехточечное позиционирование по упорам координат манипулятора. Дискретный сигнал управляющей команды в таких системах представляет собой появляющийся на выходной шине потенциал напряжения постоянного или переменного тока, длительность которого выбирается заранее или определяется моментом поступления ответного сигнала от манипулятора или обслуживающего оборудования.

Системы с ЧПУ (позиционные и контурные) применяют для управления ПР со значительным числом точек позиционирования (до нескольких сотен). Они обеспечивают перемещение рабочих органов манипулятора «от точки к точке» по кратчайшей неконтролируемой (позиционное управление) или непрерывной контролируемой (за счет интерполяции) траектории с поддержанием заданной скорости (контурное управление). Их используют для обслуживания оборудования с повышенной степенью автоматизации основных технологических операций (сварки, сборки, окраски и др.). Построение таких систем на базе микроЭВМ или микропроцессорных наборов обеспечивает реализацию, например функции интерполяции программным путем без изменения аппаратного состава изделия, что позволяет объединить существующие классы позиционного и контурного управления в один — *позиционно-контурный* (т. е. управление осуществляется с помощью ЧПУ).

По конструктивному исполнению различают ПР напольные (размещенные на полу производственного помещения), подвесные (установленные на стене или потолке, а также подвешенные на специальной опоре порталного или консольного типа) и встроенные в технологическое оборудование. Различают также ПР стационарные, исполнительные органы которых закреплены на неподвижной опорной конструкции (основании), и передвижные с исполнительными органами, закрепленными на перемещаемой опорной конструкции.

1.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПР

В зависимости от назначения ПР может иметь одну, две, три и более (но обычно не больше 7) степеней свободы исполнительного устройства. Увеличение числа степеней подвижности манипулятора, т. е. числа пар звеньев (*звено* — это деталь или группа деталей манипулятора, образующих одну жесткую взаимно неподвижную систему тел), ведет к усложнению конструкции.

Требуемая подвижность исполнительного устройства ПР достигается обычно применением кинематических пар звеньев пятого класса /по классификации И. И. Артоболевского/ — вращательных, для которых используется чаще цилиндрический и очень редко шаровой шарнир, и поступательных, выполняемых обычно в виде телескопического соединения двух звеньев или каретки, движущейся по прямолинейным направляющим.

Числом степеней подвижности W кинематической цепи называют число степеней свободы кинематической цепи относительно звена, принятого за неподвижное. Число степеней подвижности определяют по формуле Соснова-Малышева

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (1)$$

где n — число подвижных звеньев кинематической цепи;

p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 — число кинематических пар соответственно I, II, III, IV и V класса.

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

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

Таким образом, для ПР

$$W_{\text{пр}} = p_5 + 2p_4 + 3p_3 + 4p_2 + 5p_1. \quad (2)$$

Механическая система ПР может быть разделена на четыре структурных элемента, отличающихся функциональным назначением и характером выполняемых движений: основание (неподвижное звено), которым, в частности, может быть опорная конструкция или путепровод, корпус (стойка, каретка), механическая рука, захватное устройство. Число степеней подвижности: основания $W_o = 0$; корпуса (каретки, стойки) $W_k \geq 0$ и определяется мобильностью ПР; механической руки $W_m \geq 1$, определяется назначением ПР; захватного устройства $W_z \geq 0$ (в зависимости от способа удержания объекта манипулирования и конструктивного исполнения).

Тенденцией развития современного роботостроения является применение агрегативно-модульного построения ПР, имеющего следующие преимущества:

возможность получения специализированных ПР, наиболее полно отвечающих требованиям решения конкретной технологической задачи, не обладающих избыточными функциями, и поэтому более дешевых по сравнению с универсальными ПР;

сокращение времени и трудоемкости проектирования специализированных ПР, т. к. агрегатное построение конструкции позволяет более полно использовать выполненные ранее разработки и расширить гамму изделий путем добавления новых узлов и их комбинаций на базе ранее разработанных узлов;

увеличение надежности ПР за счет отработанности входящих в него узлов и наибольшего соответствия данной конструкции выполняемой задаче;

улучшение условий эксплуатации и ремонтпригодности парка ПР за счет уменьшения разнообразия конструкций узлов и деталей;

удешевление производства за счет снижения номенклатуры деталей в производстве и увеличения серийности их выпуска.

Модульный принцип создания и производства ПР был разработан в связи с необходимостью сокращения сроков проектирования и циклов производства роботов, снижения их стоимости, а также упрощения эксплуатации роботов. Экономичность модульных конструкций видна из следующего сравнения. Стоимость разработки набора из 14 модулей, из которых может быть создано более 170 компоновок ПР, может быть оценена примерно в 200 тыс. р. В то же время средняя величина затрат на разработку одного ПР традиционным методом составляет 40—50 тыс. рублей. ПР модульного типа компоуется путем соединения нужных конструктивных модулей, под которыми понимаются конструктивно и функционально независимые узлы манипулятора и системы управления, которые можно использовать индивидуально и в различных комбинациях с другими модулями. Конструктивный модуль включает обычно двигатель привода и передаточные механизмы, а также коммуникации (трубы или электрожгуты), необходимые для передачи энергии к приводам и для передачи сигналов управления и обратной связи. Модули соединяются между собой через унифицированные стыковочные плоскости и поверхности, а также с помощью унифицированных разъемов трубопроводов и электрожгутов.

В зависимости от назначения и условий работы нового ПР, т. е. в соответствии с конкретными технологическими требованиями, ПР компоуется из автономных модулей, при этом набирается нужная

кинематическая структура, которая обеспечивает необходимое число подвижности исполнительных механизмов.

Большинство применяемых в настоящее время модульных ПР имеют пневмопривод и цикловую систему управления, что позволяет упростить конструкцию модулей.

К преимуществам ПР модульной конструкции относится прежде всего гибкость структуры, которая позволяет в случае изменения технологических требований к роботу /например, при перестройке производства на выпуск продукции, изготавливаемой новыми, по сравнению с предшествующей продукцией, технологическими процессами/ легко изменить его структуру и из модулей старого робота собрать новый. Конструкция модульного ПР может развиваться практически без ограничений, при этом переход на выпуск новых роботов осуществляется почти без изменений в их производстве. При одинаковом выпуске ПР количество их конструктивных модулей резко увеличится, что позволит лучше организовать и оснастить производство ПР, снизить их трудоемкость в производстве и цену. Этому же способствует большая простота сборки и отладки в производстве роботов модульной продукции.

Так как ПР легче использовать после перекомпоновки на самых разных работах, то срок их эксплуатации выше, а удобства эксплуатации больше (меньше номенклатура деталей, нуждающихся в ремонте и замене, легче обучить эксплуатирующий персонал, меньше номенклатура роботов разной конструкции, занятых в производственном процессе и т. д.).

К недостаткам роботов модульной конструкции следует отнести их меньшую, чем у роботов обычной конструкции, жесткость, а также возрастание массы и габаритных размеров, что является следствием излишнего числа конструктивных разъемов модульного ПР, вызванных необходимостью расчленять их конструкцию на модули по звеньям кинематической цепи. Высокую точность позиционирования захватного устройства у модульного ПР обеспечить труднее, чем у немодульной конструкции.

В числовых системах программного управления ПР в настоящее время на первое место выдвигаются микропроцессорные системы, поскольку позволяют существенно повысить гибкость управления, реализуя при этом в реальном масштабе времени как сложные алгоритмы числового управления, так и сложные алгоритмы перестройки управляющих структур привода, основанного на необходимой точности и высокой управляемости ПР. Типичным примером является представленная на рис. 4 магистрально-модульная структура микропроцессорной системы управления электромеханическим ПР с двигателями постоянного тока. В указанную систему

кроме процессора и резидентной памяти микроЭВМ входят модули ввода-вывода аналоговых сигналов и связи с мини-ЭВМ. Модулем ввода собираются и преобразуются в числовую форму аналоговые сигналы датчиков положений и усилий. Управление приводами манипулятора производится через многократные буферные регистры модуля вывода, а связь между уровнями управления приводами ПР осуществляется через специальный интерфейсный модуль связи. На основе расчетных данных о траектории движения мини-ЭВМ осуществляет прием управляющих директив, расчет траекторий движения и вращательных моментов приводов манипулятора. МикроЭВМ производит линейную интерполяцию величин управляющих взаимодействий в интервалах между расчетными значениями на программной траектории.

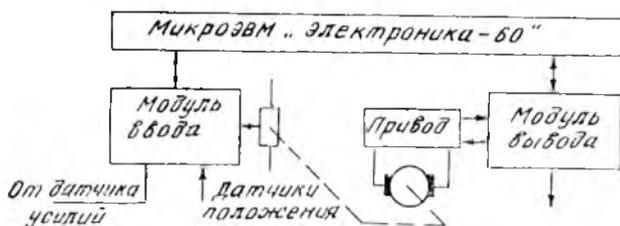


Рис. 4. Магистрально-модульная структура микропроцессорной системы управления электромеханическим ПР

Большинство современных ПР действует по неизменяемой в процессе их работы программе. А это приводит к необходимости жесткой организации внешней среды для ПР и создания дополнительной специальной оснастки и другого вспомогательного оборудования, стоимость которого для проведения операций сварки, окраски, сборки, контроля и др. может достигать 100% от стоимости ПР. Одним из основных направлений развития робототехники, позволяющим значительно расширить области применения, повысить надежность и эффективность ПР, а также избавиться от сложного вспомогательного оборудования, является создание и внедрение адаптивных ПР. Обычно они снабжены сенсорными устройствами для восприятия информации о внешней среде, а также обрабатывающими эту информацию и автоматически изменяющими программу действий ПР. Такие ПР способны манипулировать деталями, пространственное положение которых четко не задано, осуществлять опознавание объектов, совершать различные технологические операции с постоянным контролем выполненных действий. Перечисленные достоинства определяют быстрое увеличение парка адаптивных ПР в мире. По существующим оценкам, к 1990 г.

они будут составлять около половины парка ПР в мире, причем около 20% из них будут оснащаться тактильными и силомоментными датчиками и 25—50% системами технического зрения.

При создании «очувствленных ПР» большое значение имеет использование тактильных датчиков, которые преобразуют величину физического воздействия в электрические сигналы. Они позволяют определять форму поверхности захваченного объекта, наличие объекта в захвате, а также контролировать усилие, с которым осуществляется захват. Для осуществления сборочных операций одним из наиболее полезных информационных средств является применение на ПР силомоментных датчиков, которые позволяют обеспечить реализацию посадочных операций, требующих точности в пределах нескольких микрометров. С помощью систем технического зрения ПР решает задачи по обнаружению объекта, распознаванию его формы, цвета, определяет координаты расположения, размеры и ориентацию. Кроме того, он может обнаруживать появившееся препятствие и определять его расположение.

2. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ (РТК)

2.1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПР

Основные области применения ПР:

транспортирование, загрузка и выгрузка заготовок, изделий и инструмента в технологическом оборудовании и машинах, не встроены в линии (термических печей, гальванических ваннах, станках, прессах и др.);

автоматизация процессов складирования, сортировки, выборки и транспортирования заготовок, деталей и инструмента в комплексах машин и оборудования (на автоматизированных складах, производственных участках и в автоматических линиях);

непосредственное выполнение ряда технологических операций, включая сварку, окраску, автоматизированную сборку и разборку узлов и изделий.

В настоящее время находят применение и внедряются РТК в следующих технологических процессах и производствах:

литейное производство — для нанесения керамического покрытия на выплавляемые модели, уделение модельной массы и керамических стержней из отливок, обслуживания машин для литья под давлением, нагревательных печей и другого оборудования;

горячее объемное деформирование — для обслуживания нагревательных печей, штамповочных и обрезных прессов и горизонтально-ковочных и высадочных машин;

заготовительно-штамповочное производство — для обслуживания обрезных прессов и прессов глубокой вытяжки, гильотинных ножниц и другого оборудования;

термообработка и нанесение гальванопокрытий — для обслуживания закалочных и гальванических ванн и термических печей;

сварочное производство — для обслуживания сварочных машин для точечной и шовной сварки деталей; а также при сварке трением;

нанесение покрытий на детали плазменным и детонационным методами, нанесение износостойких и теплозащитных покрытий методом распыления и окунания;

механическая обработка — для обслуживания станков с ЧПУ и полуавтоматов, а также зачистных и пескоструйных установок, промывочных ванн;

производство изделий из пластмасс — для обслуживания термомпластавтоматов и т. п.

Многолетний опыт эксплуатации РТК в производственных условиях позволил определить основные особенности и принципы построения технологических процессов в случае автоматизации отдельных операций с помощью универсальных ПР первого поколения. К этим особенностям относятся следующие.

1. Необходимость доработки технологического оборудования, обслуживаемого ПР, если это оборудование создано без учета его использования. В общем контуре управления с ПР может работать только технологическое оборудование с ЧПУ и оснащенное цикловой автоматикой управления /металлорежущие станки-автоматы и полуавтоматы, прессы, штамповочные молоты, гильотинные ножницы, литейные и плавно-заливочные полуавтоматы и т. п./ . Обычно доработка сводится к незначительной переделке цикловой автоматики и зажимных устройств технологического оборудования, а также к созданию специальных электронных блоков связи между ПР и оборудованием, предназначенным для преобразования и передачи технологических команд /например, «Зажим патрона», «Разжим патрона», «Включение станка» и т. д./, и передачи в систему ЧПУ ПР сигналов обратной связи и сигналов автоблокировки.

2. Конструкция детали или заготовки должна быть приспособлена к условиям манипулирования ею с обеспечением возможности захвата, переноса и точного позиционирования ПР. Для этого деталь /заготовка/ должна иметь достаточно жесткую конструкцию и базовые поверхности, позволяющие ПР брать ее надежно и всегда одинаково.

3. Необходимость изменения технологического процесса в целях наилучшего приспособления его к техническим возможностям ПР. Так как время обработки деталей и продолжительность их межоперационных перемещений при многостаночном обслуживании или групповой обработке взаимосвязаны, то для эффективного использования ПР приходится перераспределять операции технологического процесса (с учетом передачи деталей на промежуточную обработку или контроль на другие производственные участки). Применение ПР может вызвать существенную корректировку автоматизируемого технологического процесса, включая изменение способов обработки или сборки, режимов обработки и последовательности переходов или установок.

4. Обязательное ориентирование деталей. ПР первого поколе-

ния не оснащены устройствами для определения формы и размеров детали /заготовки/, поэтому, чтобы правильно установить детали на обработку, их вначале необходимо ориентировать строго определенным образом.

Ориентирование заготовки или детали может быть выполнено без участия человека с помощью специальных ориентаторов, в которых детали или заготовки поворачиваются при подаче на позицию захватывания ПР в определенное положение под действием веса или толкателями, при этом обычно используются особенности формы детали (заготовки). Выбор способа ориентирования деталей и выбор баз для их захватывания при транспортировании тесно связаны между собой.

5. Применение накопителей деталей и заготовок. В накопителях целесообразно монтировать устройства для ориентирования заготовок при выходе их на позицию захватывания ПР.

Роль накопителя чаще всего выполняют загрузочно-разгрузочные устройства, причем в поточных линиях, обслуживаемых ПР, разгрузочное устройство предыдущего ПР часто используется в качестве загрузочного устройства последующего ПР. Применение накопителей уменьшает время, затрачиваемое человеком на подготовку работы ПР, и позволяет объединить в единый цикл технологическое оборудование разной производительности.

6. Изготовление новой оснастки, к которой относятся захватные устройства ПР, зажимные, разжимные и фиксирующие устройства технологического оборудования /патроны металлорежущих станков, пружинные упоры, всевозможные ловители, направляющие устройства, выталкиватели, приемоподающие устройства, средства межоперационного транспортирования и тара, средства контроля и др./, загрузочно-разгрузочные устройства, каштователи и т. д.

7. Проведение специальных мероприятий по обеспечению техники безопасности при работе ПР, особенно в тех случаях, когда на том же производственном участке работают люди.

Для предотвращения травматизма у наладчиков, операторов и рабочих комплектовщиков рабочее пространство ПР должно иметь специальное надежное ограждение, а внешнее технологическое оборудование должно быть оснащено датчиками для обнаружения аварийных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе ПР, а также соответствующими блокировками. Для исключения поломок оснастки обслуживаемого ПР технологического оборудования, узлов самого ПР и возможных сбоях в системе его управления необходимо применять блокировочные устройства, выключающие питание ПР и оборудования при возникновении

аварийных ситуаций /поломка инструмента, защемление детали, отказ системы управления и т. д./.

8. Планировка взаимного расположения технологического оборудования, ПР, пультов управления, загрузочно-разгрузочных устройств, тары, накопителей и транспортных средств в точном соответствии с технологической последовательностью выполнения операций технологического процесса и требованиями по точности позиционирования.

9. Подготовка, запись и контроль управляющих программ. Этому должны предшествовать разработка технологических процессов и технологические расчеты /определение режимов и времени обработки, определение требуемого и возможного вспомогательного и заключительного времени, расчет оптимальной траектории и скоростей движения исполнительного устройства ПР, расчетов циклов и циклограмм, определение вместимостей накопителей и т. д./.

Результаты расчетов вместе с описанием технологического процесса и планировкой оборудования обычно заносят в технологическую карту, используемую при составлении управляющих программ.

10. При применении ПР необходимо учитывать и производственные условия, для которых они предназначены. Если ПР рассчитан на использование в механообрабатывающем или штамповочном производстве, то следует учитывать количество отходов (стружки, облоя и т. д.), характер этих отходов и способы их удаления для обеспечения защиты базовых и установочных поверхностей объектов производства и приспособлений от отходов. Необходимо также учитывать температурный режим, загазованность и запыленность воздуха, вибрации и другие факторы внешней среды, влияющие на работу как манипулятора, так и системы управления ПР.

2.2. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПР В РТК

Единое обслуживание оборудования обеспечивается автономным или встроенным в оборудование ПР (рис. 5 а, б). Минимальные задачи, решаемые таким РТК, состоят в автоматизации операций обработки детали: ее установки-снятия, базирования и фиксации в рабочей зоне, — а также в обеспечении связи с транспортными и информационными потоками основного производства. Разновидностью этой схемы является обслуживание несколькими роботами группы оборудования, число которого меньше числа ПР (рис. 5, в), имеющего место в РТК с машинами литья под давлением, при обслуживании листоштамповочных прессов и оборудо-

вания других типов (например, в станочных центрах, где один ПР осуществляет установку-снятие детали, а другой — смену инструмента и снаряжение инструментального магазина станка).

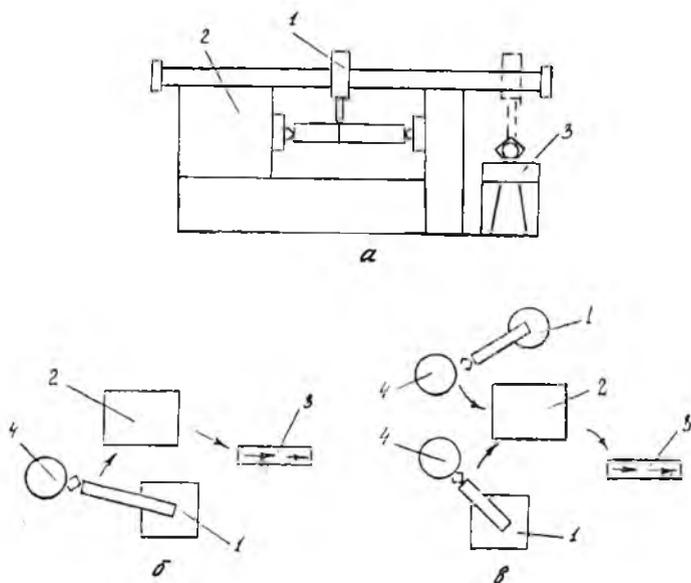


Рис. 5. Единичное обслуживание оборудования: а — ПР, встроенный в оборудование; б — расположение ПР у основного технологического оборудования; в — обслуживание несколькими ПР группы технологического оборудования, число которых меньше ПР; 1 — ПР; 2 — основное технологическое оборудование; 3 — транспортер; 4 — магазин с заготовками, деталями или инструментом

Групповое обслуживание оборудования при его линейном, линейно-параллельном или круговом расположении может осуществляться одним ПР, обеспечивающим помимо операций, названных выше, еще и межстаночное транспортирование деталей (рис. 6, а—д). При этом с помощью ПР решаются задачи диспетчирования работы оборудования, входящего в состав РТК, элементов транспортных систем и дополнительных механизмов. Разновидностью указанной схемы является обслуживание несколькими ПР группы станков, число которых превышает число роботов. При этом можно не только обеспечить обработку деталей с различной последовательностью операций, но и сократить простои основного технологического оборудования, связанные с многостаночным обслуживанием, выполняемым ПР.

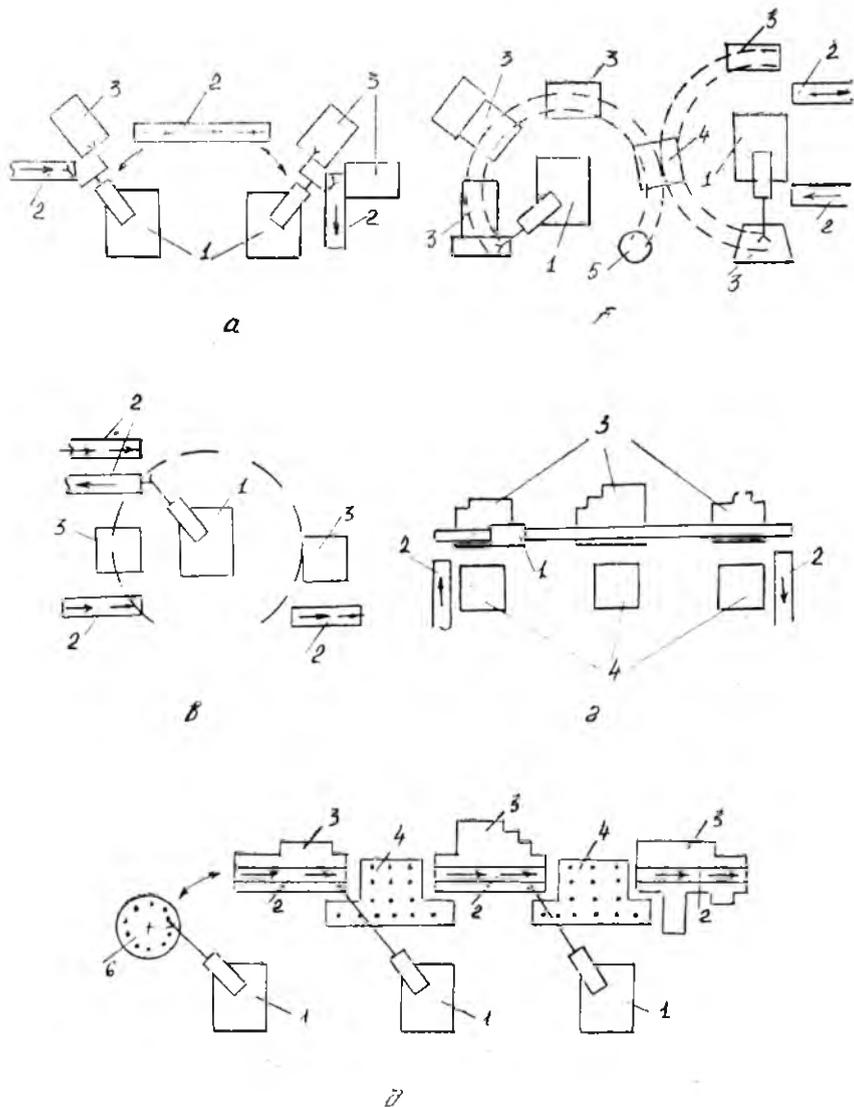


Рис. 6. Групповое обслуживание МР оборудования: *а* — обработка деталей с постоянной последовательностью операций; *б* — возможность изменения последовательности обработки и пропуска операций; *в* — круговое обслуживание оборудования (до пяти единиц); *г* — линейное расположение оборудования; *д* — объединение технологического оборудования и МР с общей системой управления; 1 — МР; 2 — транспортер; 3 — основное технологическое оборудование; 4 — магазин с заготовками, деталями или инструментом; 5 — контрольный стол; 6 — загрузочное устройство

В зависимости от серийности производства, в котором используется РТК с групповым обслуживанием оборудования, для такого комплекса могут быть применены различные организационные формы загрузки основного технологического оборудования, от независимой работы каждого станка до превращения РТК в поточную линию. Однако для обеспечения необходимой гибкости производства в РТК с групповым обслуживанием ПР необходимо предусматривать создание межоперационных заделов, обеспечение возможности пропуска отдельных операций на некоторых типах деталей, изменение порядка обработки и т. п. С помощью ПР должна решаться и задача независимой доставки деталей к станкам и их межстаночного транспортирования.

Индивидуальное выполнение основных операций таких, как сварка, окраска, сборка и т. п., осуществляется технологическим или универсальным ПР, на базе которого организуется РТК, включающий различного рода вспомогательные, транспортные ориентирующие устройства и механизмы, работа которых контролируется системой программного управления робота (рис. 7).

Под групповым использованием ПР для выполнения основных технологических операций подразумевается применение роботов разных типов (вспомогательных, технологических и универсальных), связанных в единый комплекс, обеспечивающий законченный технологический процесс (рис. 8).

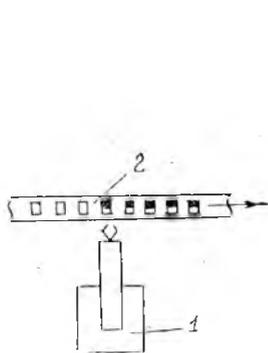


Рис. 7. Индивидуальное выполнение ПР основных технологических операций: 1 — ПР; 2 — транспортер

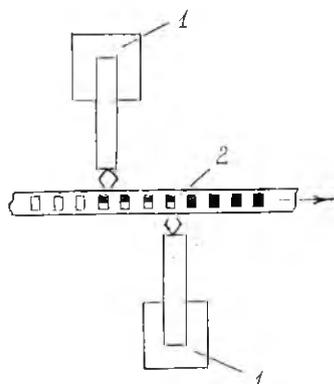


Рис. 8. Групповое выполнение ПР основных технологических операций: 1 — ПР; 2 — транспортер

2.3. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В ЦЕХАХ ОСНОВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Среди большого числа требований, предъявляемых к РТК, можно выделить ряд основных, выполнение которых является обязательным при построении комплексов. К ним следует отнести следующие:

планировка комплекса должна обеспечивать свободный, удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала, к основному и вспомогательному оборудованию, а также к органам управления комплекса;

планировка должна, по возможности, исключать пересечение трасс следования оператора и ПР в процессе его работы по программе;

комплекс должен быть обеспечен средствами защиты от возможного проникновения человека в зону действия ПР (светозащита, защитные сетки и т. п.), причем необходимо применение параллельно двух-трех различных защитных средств, действующих автономно;

размещение средств защиты не должно ограничивать технологические возможности оборудования, затруднять их обслуживание, а также препятствовать визуальному наблюдению за ходом технологического процесса;

размещение средств управления должно обеспечивать свободный и быстрый доступ к органам аварийного отключения.

Широкое применение ПР находят в холодной листовой штамповке (ХЛШ), что дает большой технико-экономический эффект, так как в этом производстве до 85 — 90% времени, затрачиваемого на изготовление деталей и заготовок, уходит на вспомогательные переходы установки заготовок в штамп, съема деталей и т. п. А так как для процессов ХЛШ характерны монотонность, повышенные производственный шум и загрязненность рабочих мест отработанными смазочными материалами и другими отходами, то применение ПР во всех случаях позволяет исключить труд рабочих в условиях увеличенной травмоопасности, дискомфортных, иногда тяжелых и физически.

При работе прессы одиночными ходами человек, вручную подавая заготовки в штамп, не в состоянии обеспечить полную загрузку оборудования и добиться максимального его использования, поэтому в первую очередь необходимо автоматизировать изготовление деталей методом поштучной подачи заготовок на пресс. Требованиям ХЛШ производства вполне отвечают ПР ПР-10С, ПР-10И, ПР-5, «Сатурн-М», «Бриг-10», ПРП-5, ПРЦ-1, МП-4, МП-9С, РФ-201М, РФ-202М, «Циклон-ЗБ», РП-10, «Универсал-15»,

РПП-76 и другие, которые целесообразно применять при создании РТК, линий и участков.

Использование перечисленных роботов требует предварительной ориентации и фиксации подаваемых на пресс заготовок, при этом система управления робота должна получить сигнал на разрешение взять зафиксированную заготовку с исходной позиции. Вследствие кратковременности цикла операций, выполняемых роботом, необходимо использовать достаточно емкие накопители заготовок или обеспечить быструю передачу заготовок с предыдущей операции. Кроме того, следует предусмотреть устройства для приема готовых изделий и отходов. В качестве таких устройств могут быть применены бункеры, конвейеры и т. п.

Типичная планировка РТК для штамповки деталей массой до 2 кг на прессе, обслуживаемом роботом ПР-5, показана на рис. 9.

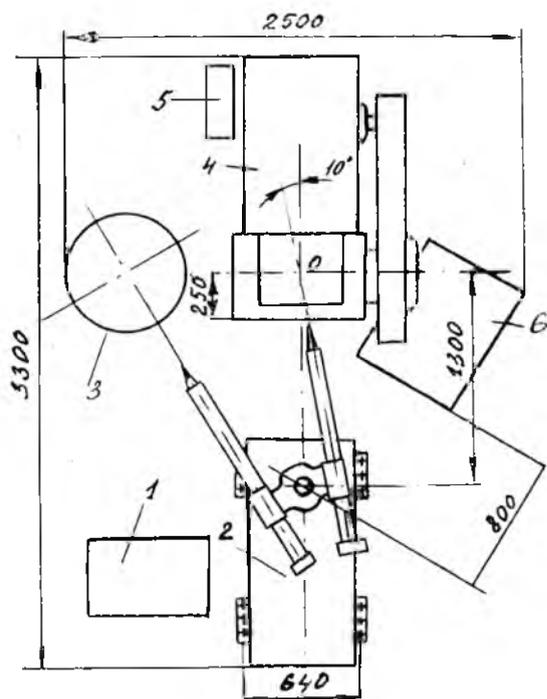


Рис. 9. РТК холодной штамповки деталей массой до 2 кг на прессе, обслуживаемом ПР

Манипулятор ПР 2 берет заготовку из загрузочного устройства 3, укладывает ее в штамп прессы 4, дает команду на рабочий ход

пресса и после завершения рабочего хода снимает готовую деталь и сбрасывает ее в тару 6. Так как манипулятор 2 имеет две руки, то установка последующей заготовки в штамп и сброс готовой детали в тару осуществляется одновременно. Пресс работает в режиме одиночных ходов. Вместимость накопителя загрузочного устройства 3 обеспечивает непрерывную работу робота с прессом в течение не менее 4 часов.

Предназначенное для питания ячейки, ориентации и подачи заготовок в фиксированное положение загрузочное устройство представляет собой вращающийся барабан, в котором имеется восемь магазинов-накопителей. В каждый магазин укладывается 250 заготовок. После заполнения всех магазинов заготовками барабан устанавливается в фиксированное положение, при этом под одним из магазинов оказывается шток подающего механизма.

После взятия двух-трех заготовок из магазина специальный щуп дает команду на открытие клапана перепуска масла в гидроприводе подающего механизма и поршень поднимает стопку заготовок в магазине до пужного уровня. Система управления загрузочным устройством связана с пультом управления роботом 1 и пультом управления прессом 5. Штамп оснащен специальными направляющими для ориентации заготовки и выталкивателем отштампованной детали.

Время, затрачиваемое на штамповку одной детали, составляет 5—6 с.

Универсальность ПР делает возможным их широкое применение для автоматизации обслуживания различных металлорежущих станков, причем один робот может обслужить два станка и более. На авиационных предприятиях обслуживание процессов механической обработки является областью наиболее широкого применения ПР и автооператоров. Для обслуживания различного металлорежущего оборудования используются ПР моделей РР-1, С7505.03, РР-901, «Сатурн-М», МР-1, ПРМ-2, ПР-10И, ПР-5, ПР-4, СН3308.01, СМ80Ц2.5.01А, УМ160Ф2.81.01, МАН-63С, «Универсал-15», «Бриг-10», «Электроника НЦ-ТМ.01», СМ40Ц.43.01 и др.

ПР и РТК, предназначенные для механической обработки, выполняют следующие вспомогательные операции: установка заготовок в рабочей зоне станка и снятие обработанной детали с укладкой ее на конвейер, в ориентирующий магазин и т. п.; контроль размеров заготовок и обработанных деталей; очистка базовых поверхностей деталей, заготовок и фиксирующих приспособлений станка от грязи и стружки; проверка правильности базирования и фиксации заготовок в зажимных приспособлениях станка; смена захватов, а также режущего и вспомогательного инструмента. ПР может осуществлять поиск, распознавание детали и переба-

зирование ее в процессе обработки. При обслуживании группы станков ПР обеспечивает межстаночное транспортирование деталей.

На рис. 10 показана планировка РТК, предназначенного для обработки корпусных деталей типа корпусов гидроблоков. Они включают склад-накопитель. Так как время цикла обработки тяжелых корпусных деталей достаточно велико, то наличие склада-накопителя обеспечивает относительно длительное функционирование комплекса без остановок для восстановления запаса заготовок.

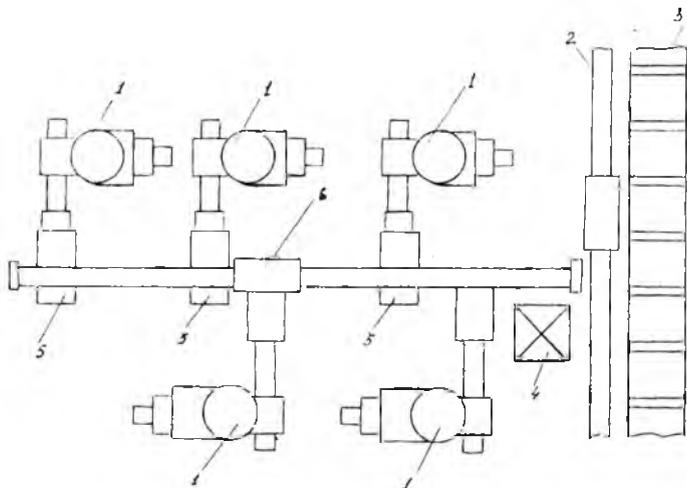


Рис. 10. РТК для механической обработки корпусных деталей: 1 — обрабатывающий центр ИР-500МФ4; 2 — автоматический штабелер; 3 — ячейки автоматизированного склада; 4 — поворотный стол; 5 — магазин-накопитель; 6 — ПР

В этом РТК используют способность ПР УМ160Ф2.81.01 обслуживать вертикальные станки. Для этого перед станками имеются поворотные устройства, в зажимные приспособления которых ПР устанавливает заготовку. Затем по специальной команде заготовка зажимается (одновременно происходит выравнивание по базам), устройство поворачивается, и заготовка попадает на позицию обработки. В РТК станки (обрабатывающие центры ИР-500МФ4) располагаются по обеим сторонам от портала (три с одной стороны и два с другой), при этом в максимальной степени используется преимущество конструкции ПР — большая зона обслуживания. Часть транспортных функций в РТК (установка

заготовки на поворотный стол, с которого она впоследствии захватывается (ПР) выполняется краном-штабелером.

Большую перспективу имеет применение ПР для выполнения сборочных операций методом клепки. Соединение деталей заклепками /и особенно стержнями/ имеет высокий ресурс, поэтому широко применяется, например в самолетостроении. При сборке планера современного пассажирского самолета требуется до 1—2 млн. заклепок различного диаметра /1,5 ... 10 мм/ и разной длины. Значительная часть заклепок устанавливается на клепальных прессах или автоматах. Тем не менее большой объем клепальных работ вследствие недоступности места клепки и других причин приходится выполнять вручную с помощью ручного пневматического инструмента — дрелей и молотков.

Ручная клепка — монотонный и вредный для здоровья процесс, в ряде случаев вызывающий тяжелое профессиональное заболевание /виброблезнь/, поэтому полная его автоматизация является важной технической задачей. Достаточно хорошо эта задача решается с помощью ПР, которые могут в автоматическом режиме выполнять все технологические переходы и операции — позиционирование относительно собираемого узла, выбор и замену инструмента, сверление отверстий, зенкование его под потайную головку заклепки, выбор, поштучную подачу и установку нужной заклепки в отверстие, расклепывание заклепки с предварительным сжатием склепываемого пакета деталей, зачистку или фрезерование замыкающей головки, контроль качества и перемещение собираемого узла на шаг заклепок для повторения всех операций со следующей заклепкой.

Для выполнения перечисленных операций используются два ПР — один с многоинструментальной головкой и автоматическим выбором инструмента со стороны закладной головки заклепки, другой — с поддержкой со стороны замыкающей головки /или наоборот/. При этом могут быть использованы телевизионные датчики, необходимые для установки заклепок и контроля. Таким способом можно клепать панели самолетов одинарной и двойной кривизны (при сборке некоторых панелей устанавливается 3—5 тыс. заклепок), а также фюзеляж самолета, собираемые в стапелях и вне стапеля. ПР, имеющие две руки и более, оснащенные системами технического зрения и управляемые от ЭВМ, могут быть использованы для сборки различных агрегатов и узлов, включая сборку по стыковым швам заклепками и болтами. Клепальные ПР могут обеспечить такую же производительность клепки, что и клепальные прессы и автоматы (10—12 заклепок в мин.), при высокой точности их установки по шагу (погрешность позиционирования не превышает $\pm 0,5$ мм на длине перемещения до 1 м). При

этом необходимо оснащать ПР адаптивной системой управления и датчиками коррекции управляющей программы, так как вследствие малой жесткости самолетных конструкций отклонение фактического положения собираемых деталей (например стрингеров) от теоретического может превышать 3... 4 мм на длине 2 м. Наиболее приемлемым методом программирования такого робота-клепальщика является обучение его рабочим-оператором.

Типичные схемы автоматизированных комплексов клепки с помощью ПР узлов и агрегатов показаны на рис. 11.

Применение ПР для клепки позволяет полностью ликвидировать ручную работу рабочих-клепальщиков во вредных для здоровья условиях, отличающихся повышенным шумом. При этом требуется вдвое меньшая /по сравнению с клепальными автоматами/ производственная площадь, так как собираемые изделия неподвижны и перемещаются ПР.

Технические возможности роботов-клепальщиков значительно шире возможностей клепальных автоматов, так как могут выполнять сборочные работы внутри закрытых объемов (например, в фюзеляже или баке-цистерне) или собирать узлы самой разнообразной формы с поперечным силовым набором (шпангоутами, ребрами и т. п.).

Особо важным свойством автоматизированной системы клепки-сборки с помощью ПР, управляемых ЭВМ, является высокая гибкость, позволяющая быстро перестраиваться на сборку нового узла с использованием заклепок из другого материала и других размеров.

Для выполнения операции сборки электрических жгутов на плазе требуется довольно сложный робот (типа ПРК-20), установленный на рельсовых направляющих, параллельных двум плазам, на которых раскладываются электропровода жгутов. Провод подается на производственный участок автоматической сборки на специальных катушках, которые размещаются ориентированно в специальных стеллажах. В захватном устройстве ПР имеются механизмы для натяжения и подтормаживания провода, а также механический нож для резки проводов.

Операции сборки жгута из проводов выполняются в следующей последовательности:

захватывание катушки с проводом и выем ее из стеллажа;

установка провода в позицию начала раскладки его на левом плазе;

заправка провода в канал;

перемещение манипулятором ПР устройства натяжения с проводом по программе раскладки вдоль левого плаза и раскладка нужного провода на плазе;

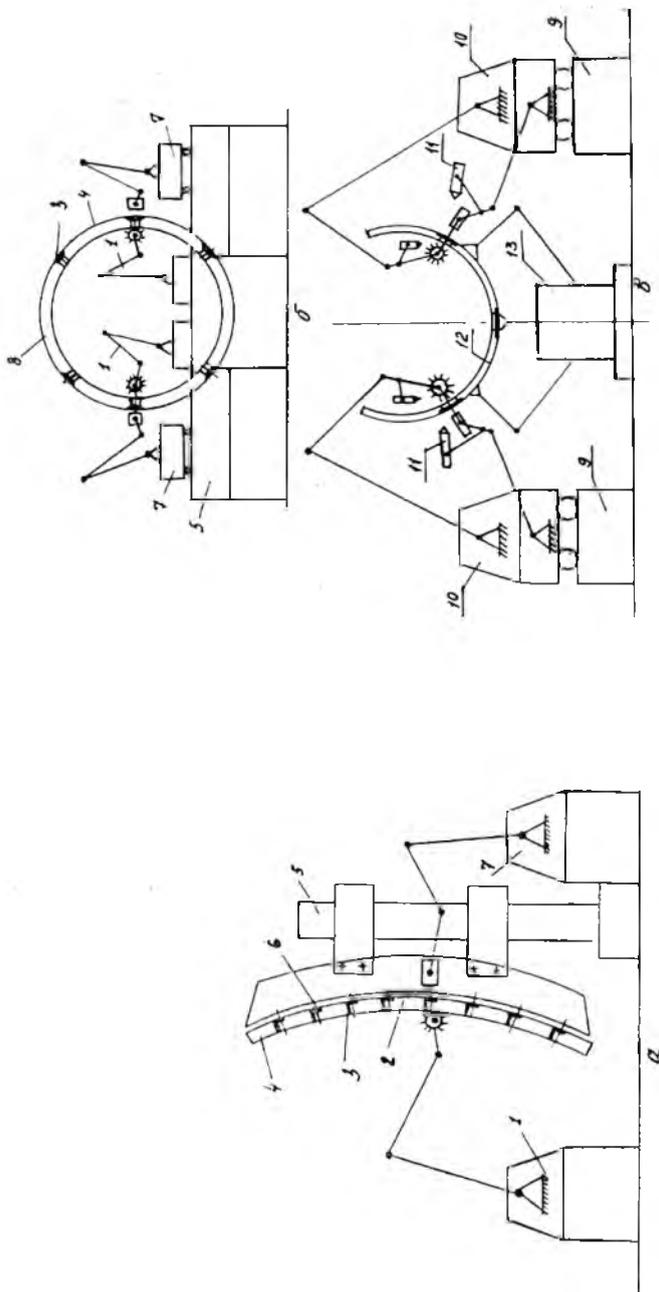


Рис. 11. Схемы применения IP для клепки узлов и агрегатов самолета: а — клепка панели двумя IP; б — клепка двух стыковых швов панелей фюзеляжа двумя парами IP; в — сборка-клепка узлов с помощью IP, оснащенных системами технического зрения и управляемых от ЭВМ; 1 — IP с многоинструментальной головкой; 2 — обшивка собираемой панели; 3 — стрингер панели; 4 — шпангоут панели; 5 — сборочная оснастка (степель сборки-клепки панелей); 6 — заклепка; 7 — IP с поддержкой; 8 — фюзеляж; 9 — подставка; 10 — IP с многоинструментальной головкой и поддержкой; 11 — телекамера технического зрения; 12 — собираемый узел; 13 — поддерживающий IP

выдача команды на отсечку провода, отсечка и закрепление конца провода на плазе;

повторение цикла для укладки другого провода в жгут из стеллажа на этом же (а затем аналогично и на другом — правом) плазе.

По мере расширения технических возможностей ПР, в том числе за счет использования адаптивного управления ими, ПР будут все шире применяться не только для любых по сложности сборочных работ, но и для выполнения монтажа в серийном производстве.

3. ГИБКИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРОИЗВОДСТВА

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тип производства (массовое, серийное, единичное) предъявляет определенные требования к технологическому оборудованию, к сочетанию таких противоречивых его свойств, как производительность, универсальность (способность к переналадке на изготовление возможно большего диапазона изделий) и гибкость (быстрота перехода на выпуск новых изделий). В условиях массового производства со стабильной продукцией, где главным требованием является высокая производительность, оправдано применение узкоспециализированного оборудования. Для мелкосерийного и единичного производств наиболее важны характеристики универсальности и гибкости.

Создание автоматического оборудования связано с необходимостью решения сложных технических проблем и требует значительных материальных затрат. Поэтому процесс автоматизации в первую очередь начался в массовом и крупносерийном производствах, специализированное оборудование которых является относительно более простым, а затраты на его проектирование и изготовление окупаются за счет выпуска одних и тех же изделий в течение длительного времени. Следует, однако, отметить, что массовое и крупносерийное производства обеспечивают лишь 15—20% объема машиностроительной продукции, поэтому проблема автоматизации мелкосерийного и единичного производств, обеспечивающих остальные 80—85%, остается весьма актуальной и до настоящего времени.

Появление многоцелевого автоматического оборудования, роботов, РТК, автоматических погрузочно-разгрузочных и транспортных средств, складских и накопительных устройств, контрольно-измерительных машин и приборов, устройств ЧПУ и управляющих ЭВМ создало реальные условия для автоматизации мелкосерийного и единичного производств на основе так называемых гибких производственных систем (ГПС). Их гибкость выра-

жастся в возможности перенастройки оборудования на изготовление новой продукции с помощью соответствующего программно-математического обеспечения и ЭВМ.

В настоящее время существуют различные варианты создания ГПС, отличающиеся по уровням организационной структуры и степени автоматизации. Первым уровнем организационной структуры являются гибкие производственные модули (ГПМ), состоящие из единицы технологического оборудования, оснащенной устройством программного управления и средствами автоматизации технологического процесса (накопители, спутники, устройства загрузки-выгрузки, замены и переналадки технологической оснастки, удаления отходов, автоматического контроля и диагностики и т. д.), способные автономно функционировать, многократно осуществляя производственные циклы, и имеющие возможность встраивания в систему более высокого уровня. Частным случаем ГПМ является РТК при условии возможности встраивания в систему более высокого уровня. Вторым уровнем являются гибкие автоматические или автоматизированные участки (ГАУ) и линии (ГАЛ), представляющие собой совокупность нескольких ГПМ, объединенных общей системой управления (СУ). Различие ГАУ и ГАЛ заключается в компоновке оборудования. В ГАЛ оно расположено в порядке принятой последовательности технологических операций, а в ГАУ предусмотрена возможность изменения последовательности использования оборудования. Третий и четвертый уровни образуют соответственно гибкие автоматические или автоматизированные (т. е. с участием человека) цехи (ГАЦ) и заводы (ГАЗ).

Работа по созданию ГПС выявила ряд сложных проблем. Поскольку управляемое ЭВМ оборудование способно работать круглосуточно без выходных и отпусков, а его производительность превосходит производительность обычной человеко-машинной системы в 5--8 раз, возникла необходимость в резком сокращении сроков подготовки производства, которая стала наиболее узким местом производственного процесса. В результате возникла концепция интегрированных производственных комплексов (ИПК), назначение которых заключается в реализации автоматизированного цикла создания новых изделий, начиная от научных исследований и конструирования изделий и кончая их изготовлением, испытанием и складированием.

Такие ИПК имеют следующую структуру (рис. 12): АСУП -- АСНИ -- САПР -- АСТПП -- ГАП -- АСКИО. В них АСУП осуществляет автоматизированное управление предприятием, включая планирование и координацию работы остальных систем, материально-техническое обеспечение. АСНИ -- предпроектные научные

исследования, связанные с анализом и сравнением вариантов изделия /например, выбор количества ступеней ракеты, схемы самолета, типа двигателей и т.п./. САПР предназначена для разработки конструкции изделий. АСПП осуществляет автоматизированную подготовку производства, включая разработку и нормирование технологических процессов, проектирование и изготовление средств технологического оснащения. АСКИО осуществляет контроль готовых изделий на соответствие конструкторским и функциональным требованиям, соответствие техническому заданию. ГАП — это производственная единица (ГАУ, ГАЛ, ГАЦ, ГАЗ), функционирующая на основе безлюдной технологии, работа всех компонентов которой (оборудования, транспортных, складских систем и т.д.) координируется как единое целое многоуровневой системой управления, обеспечивающей изменение программы функционирования компонентов ГАП и тем самым быструю перестройку технологии при смене объектов производства.

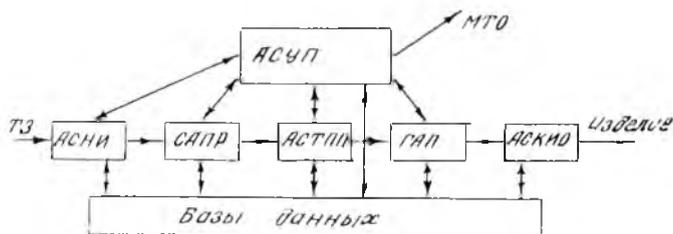


Рис. 12. Логическая структура ИПК: АСУП — автоматизированная система управления производством; АСНИ — автоматизированная система научных исследований; САПР — система автоматического проектирования; АСПП — автоматизированная система технологической подготовки производства; ГАП — гибкое автоматизированное производство; АСКИО — автоматизированная система контроля и испытания объектов; ТЗ — техническое задание; МТО — материально-техническое обеспечение

Основными принципами построения ИПК являются:

интеграция — подход к производственному процессу, начиная от научных исследований и кончая улаковкой продукции, как к единому и неделимому объекту автоматизации;

гибкость, которая обеспечивается способностью ГАП к перестройке производства;

модульность — компоновка всех систем ИПК из типовых элементов-модулей, что обеспечивает возможности изменения структуры и поэтапного ввода в эксплуатацию;

системность, которая предполагает рассмотрение ИПК как совокупности систем, цели функционирования которых подчинены целям ИПК, в свою очередь подчиненных целям функционирования системы более высокого уровня.

Создание ГПС, не говоря уже о создании ИПК различного назначения, является задачей гигантской сложности, требующей огромных усилий и капиталозатрат. Однако, в большинстве развитых стран работы по созданию ГПС и ИПК ведутся форсируемыми темпами. Ставится задача уже к 1990 — 2000 гг. создать безлюдные и безбумажные заводы-автоматы. Такая заинтересованность объясняется тем, что преимущества, обеспечиваемые ИПК и ГПС, делают их стратегическим фактором в экономической и военной конкуренции, создают предпосылки для успешного решения некоторых социальных проблем. Ожидается, что использование ГПС и ИПК позволит:

- автоматизировать единичное и мелкосерийное производства;
- резко повысить качество продукции за счет улучшения проектирования и контроля на производстве;

- достигнуть изобилия высококачественных, разнообразных, дешевых изделий, причем изобилие и дешевизна обеспечиваются круглосуточной, круглогодичной, высокопроизводительной работой, разнообразие — гибкостью, качество — ЭВМ и АСКИО;

- сократить материалоемкость и энергоемкость производства;

- высвободить рабочих и производственные площади;

- помочь в решении социальных задач по стиранию грани между умственным и физическим трудом, устраниению людей из вредных для здоровья производств, охране окружающей среды.

3.2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБКОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В общем случае ГАП содержит исполнительную систему и систему управления, состоящие из отдельных модулей. В исполнительную систему входят: станки и технологические установки, роботы, контрольно-измерительные устройства, являющиеся модулями технологической подсистемы, модули удаления отходов, перемещения заготовок, деталей и изделий между модулями технологической и складской подсистем, образующие транспортную систему, модули хранения, выдачи и учета заготовок, деталей и инструмента, входящие в складскую подсистему. Система управления состоит из средств вычислительной техники и программного обеспечения, построенных также по модульному принципу.

По структуре ГАП представляет собой множество автоматических обрабатывающих и контрольно-измерительных модулей,

объединенных в единую систему: по управлению — с помощью ЭВМ и по материальным потокам — с помощью единой транспортно-складской системы.

Организационной основой ГАП является групповой метод организации технологических процессов, особенностью которого является совместное изготовление групп изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками (т. е. изделий, различающихся формами и размерами, но изготавливаемых с помощью однородных операций технологического процесса). Регулярность производства таких групп достаточно высока, производственный процесс, несмотря на частую смену объектов производства, является устойчивым во времени, и, следовательно, может рассматриваться как объект автоматизации.

Принципиально важно рассматривать гибкость ГАП в тесной взаимосвязи объектов производства, технологии, технических средств, организации и управления производством, причем подход должен быть унифицированным. Унификация изделий предполагает унификацию отдельных конструктивных элементов, позволяющую сократить многообразие технологических баз, приемов и методов обработки, типы и количество оборудования, оснастки и инструмента. Унифицированные элементы конструкций изделий являются элементной базой САПР, что уже на этапе проектирования обеспечит технологичность изделий.

Технологическая унификация позволяет организовать производство с точки зрения не изготовления некоторой номенклатуры деталей, а выполнения некоторого количества деталейопераций, что приближает единичное и мелкосерийное производства к уровню массового. Различают пять уровней технологической унификации. *Первый уровень* — унификация ходов как элементов синтеза программ управления рабочими и вспомогательными перемещениями всех устройств в ГАП. *Второй уровень* — унификация переходов, где унифицируется характер обработки и вид инструмента. *Третий уровень* — элементарные схемы обработки, где упорядочиваются планы обработки элементарных поверхностей, учитывается обработка комплексных конструктивных элементов (например, отверстие с цековкой и т. п.). Эти три уровня унификации не имеют связи со структурными свойствами изделий. *Четвертый уровень* — унификация операций, где унифицируется вид и характер обработки некоторой группы изделий, используемое технологическое оборудование и вид оснастки. *Пятый уровень* — унификация маршрутов обработки изделий, где унифицируются последовательности операций, которые справедливы для некоторого множества изделий.

Унификация технических средств, методов организации и управления позволяет создавать ГАП различного назначения, что резко снижает трудоемкость и стоимость их разработки.

Состав и последовательность работ, которые необходимо выполнить при проектировании и эксплуатации ГАП (рис. 13), различны. При проектировании ГАП возрастает роль анализа производства, прогнозирования, проектирования технологических процессов (ТП) и оснащения, планирования производства. Появляются новые виды работ, связанные с группированием изделий, поэтому построение производственных подразделений (ПП) осуществляется на основе анализа и унификации изделий и технологических процессов и разработки групповых технологических процессов (ГТП). При переходе имеющихся ГАП на выпуск новой продукции производится отработка последней на технологичность на основе унификации изделий, технологических процессов и их элементов, а затем проектируется рабочий технологический процесс методом адресации к групповому технологическому процессу. Оптимизация принятых решений производится при проектировании

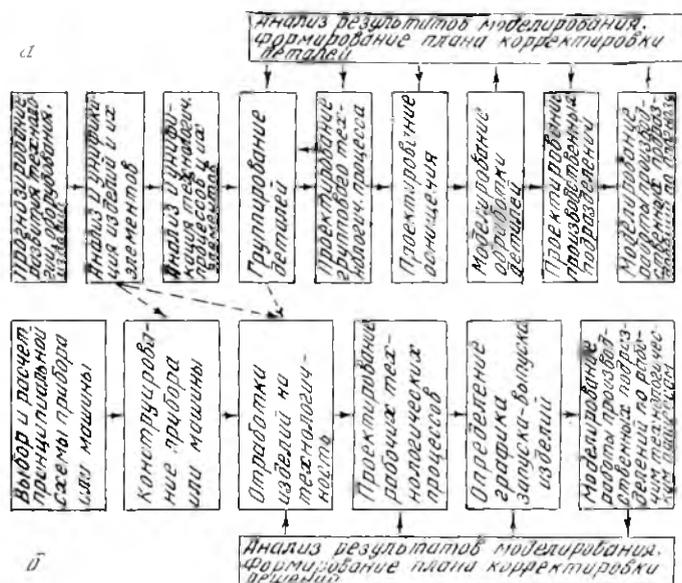


Рис. 13. Схема выполнения работ: а — при проектировании ГАП; б — при эксплуатации ГАП

ГАП три раза: при проектировании ГТП (операционных) оптимизируется состав и совмещение инструментальных переходов в обработке, при проектировании оснащения оптимизируется состав комплектов базовых поверхностей и маршрутных технологических процессов, при проектировании производственных подразделений оптимизируется маршрутный технологический процесс, состав вспомогательного оборудования (накопителей, роботов, транспортных средств), размещение оборудования. Эксплуатация ГАП требует оптимизации в процессе формирования графика запуска—выпуска изделий в производстве.

В отличие от традиционных производственных систем в условиях ГАП технологические процессы разрабатываются не только для обработки, но и для установки и съема изделий с технологических модулей, транспортирования, контроля, мойки, сушки и т. п. Степень подробности технологических решений доводится до уровня программ управления ходами. Принципиально важное значение имеет максимальная концентрация переходов в операции, минимизация технологических баз и баз транспортирования и манипулирования изделиями. При выборе технических средств ГАП целесообразно ограничивать типы оборудования, ориентируясь на многоцелевые однотипные технологические модули, что обеспечивает наилучшие условия эксплуатации и управления. Включение в ГАП узкоцелевых модулей целесообразно, если они обеспечивают максимальную степень готовности изделий при заданных особенностях технологических процессов.

Необходимость обеспечения экономической эффективности при эксплуатации ГАП требует гибкой организации транспортных средств и рационального использования системы накопителей. Поскольку склад ГАП иногда не может обеспечить бесперебойного функционирования модулей (особенно при отказах технических средств склада или в случае большого количества заявок на загрузку—разгрузку одновременно от нескольких модулей), то рекомендуется применять накопители около модулей или в их составе. Гибкость производственной системы достигается по схеме склад—накопитель—станок—накопитель—склад с сохранением связей станок—накопитель—накопитель—станок.

Высокое качество продукции ГАП обеспечивается адаптивными системами управления модулей (на основе микроЭВМ), средствами диагностики оборудования, средствами контроля качества обработки и управлением качеством на основе статистического анализа причин брака. Одним из главных требований, предъявляемых к инструментальному обеспечению, является автоматическая смена инструмента в магазине модуля. Совмещения по времени

установки изделия и инструмента на модуль достигают за счет транспортно-установочной системы, независимой от системы транспортирования изделий.

В целях минимизации переналадок оборудования ГАП при его создании и в процессе эксплуатации должна решаться задача создания универсальной технологической оснастки. В число важных задач организации производства в ГАП входит техническое обслуживание в целях обеспечения надежной работы. Эта служба является внешней по отношению к производственному процессу в ГАП, однако обеспечивает его нормальный ход. *Цель технического обслуживания* — стабилизация основных параметров технических средств ГАП посредством диагностики и профилактических работ без нарушения хода производства. Эта цель достигается путем согласования ремонтных и основных работ на уровне оперативно-го управления ГАП.

К организации управления технологическим оборудованием, транспортом, складами и ГАП в целом предъявляется требование многоуровневого построения. Верхний уровень управления ГАП должен быть информационно, программно, методически и организационно совместим с АСУП. Все уровни управления ГАП при их полной совместимости целесообразно строить независимыми, что обеспечит возможность автономной работы в сбойных ситуациях.

В настоящее время концепция ГАП в наибольшей степени разработана для механической обработки, что и нашло отражение в дальнейшем изложении. Однако большинство положений этой концепции являются в достаточной степени общими и применимы при разработке других видов технологических систем.

3.3. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ГАП

Технологической основой ГАП является групповая технология, которая определяется совокупностью технологических операций, обеспечивающих изготовление группы изделий по общему технологическому маршруту (при этом некоторые изделия могут пропускать отдельные операции и переходы). Групповая технология обеспечивает гибкость ГПС на уровне оборудования. Конкретные цели и задачи, решаемые ГАП, определяют количество и состав модулей, состав и свойства входящих в них элементов. Существуют, однако, общие требования, которым должно удовлетворять оборудование ГАП:

1. Обеспечение обработки в автоматическом режиме значительной номенклатуры изделий при максимальной концентрации опе-

принципи на отдельных единицах оборудования, что позволяет сократить количество оборудования, упростить транспорт, улучшить качество и уменьшить длительность производственного цикла.

2. Возможность быстрой переналадки при смене объекта производства.

3. Компоновочная и программная стыковка с транспортно-складскими, измерительными системами и системой управления ГАП (СУ ГАП).

Для ГАП характерны следующие принципы реализации основных функций технологического оборудования по обеспечению обработки в автоматическом режиме:

1. Переналадка станков, роботов, устройств накопления и ориентации на выпуск новых изделий осуществляется заменой или регулировкой зажимных устройств, схватов, инструмента и т. п.

2. Загрузка и выгрузка изделий с технологического оборудования осуществляется с использованием роботов и накопителей со спутниками для крепления изделий. Спутники — это универсальные приспособления, снабженные специальными узлами, обеспечивающими транспортировку и точное их позиционирование на рабочих позициях.

3. Контроль и коррекция режимов технологических процессов в соответствии с установленными критериями оптимизации осуществляется на основе целевых функций (минимальная себестоимость, максимальная производительность).

4. Контроль геометрических параметров изделий и коррекция для достижения заданных размеров производится контактными методами с помощью щупов, с учетом исходного положения изделия, точности настройки и степени износа инструмента, деформаций станков, ошибок систем управления и т. п.

5. Контроль за состоянием инструмента осуществляется измерением силовых параметров процесса обработки, замером времени работы инструмента, замером износа контактными методами.

6. Замена инструмента в соответствии с программой обработки производится с использованием магазинов и револьверных головок. Замена изношенного и сломанного инструмента осуществляется сменой отдельного инструмента в магазине или головке, сменой магазинов или головок, резервированием нескольких одинаковых инструментов в головке или магазине.

7. Сбор и удаление отходов осуществляется сдуванием, смыванием, транспортерами, отсосом, а также за счет компоновочных решений, обеспечивающих падение отходов вниз.

8. Контроль наличия, расхода и других параметров технологических сред, поиск неисправностей и диагностика элементов оборудования, осуществление связи с верхним уровнем управления

по передаче управляющих воздействий и учетной информации производится с помощью системы автоматического контроля, входящей в состав ГАП (не путать с АСКИО).

В некоторых случаях выполнение некоторых операций вне ГАП может считаться более целесообразным, чем включение соответствующего оборудования в состав ГАП. Это допустимо, если нет возможности загрузить это оборудование номенклатурой ГАП. Следует отметить, что в свете перечисленных требований рассмотренные в предыдущих разделах РТК в наибольшей степени подходят для включения в состав ГАП.

3.4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНО- НАКОПИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СКЛАДЫ ГАП

Автоматический транспорт, накопители и склады ГАП предназначены для обеспечения бесперебойной работы ГАП путем материального снабжения. Выполняя различающиеся функции, обладая отдельными системами управления, подчиненными лишь системе управления ГАП, автоматические склады (АС) и автоматические транспортно-накопительные системы (АТНС) ГАП являются по сути частями единого целого и проектируются с учетом этого единства. Автоматический транспорт охватывает все грузопотоки: межпеховые, межоперационные, межучастковые, а также все элементы перемещений, включая ориентацию, установку, съем изделия и т. п. Накопители выполняют роль буферных устройств, сглаживающих нарушения ритма работы технологического оборудования и транспорта. АС предназначены:

для обеспечения взаимодействия ГАП с внешними системами (с другими ГАП, внешним транспортом и т. п.) по материальным потокам: сырья, материалов, инструмента, приспособлений, тары, комплектующих частей, готовых изделий, брака, отходов;

для обеспечения взаимодействия подсистем ГАП между собой, т. е. в качестве накопителя;

для учета информации о ходе производства, так как на АС все материалы, инструмент и т. п. находятся в стационарном состоянии. АС являются основой для организации производственного процесса в ГАП.

Конструктивные решения АТНС и АС определяются такими характеристиками грузов, как масса, способ загрузки (в таре, без тары, навалом, ориентированные, кассетированные, в пакетах, на спутниках), форма (тела вращения, корпусные, диски, спицеобразные и т. д.), вид материала (металлические, неметаллические),

свойства материала (хрупкие, твердые, пластичные, магнитные и т. д.).

В зависимости от особенностей технологического процесса в ГАП АТНС могут быть непрерывного или периодического перемещения, ветвящиеся или неветвящиеся, возвратные или прямочные. Возможны также комбинации по всем этим параметрам. Основные требования к АТНС определяются тем, что АТНС должна соответствовать грузопотоку, который, в свою очередь, зависит от технологии и компоновки оборудования ГАП. Кроме того, необходимо стремиться к сокращению длины транспортных связей в целом и каждого их ответвления в отдельности, уменьшению числа пересечений и ответвлений, исключению влияния на другие элементы ГАП, обеспечению требований техники безопасности, снижению капитальных и эксплуатационных затрат, обеспечению ремонтпригодности. АТНС может использовать транспортные средства других ГАП (например, централизованную систему удаления отходов).

В качестве основного оборудования АТНС ГАП используют конвейеры, транспортные роботы, устройства пневмо- и гидротранспорта, стеллажи и штабелеры, промышленные роботы. К вспомогательному оборудованию относятся ориентаторы, адресователи, толкатели, сбрасыватели, накопители, подъемные и поворотнокординатные столы, подъемники, вибробункеры, лотки, перегрузочные тележки, питатели, тара.

Управление АТНС осуществляется двухуровневой системой управления (СУ). *Нижний уровень* — управление локальными устройствами автоматики, транспортным оборудованием, роботами, штабелерами. *Верхний уровень* — управление грузопотоками и складскими операциями, осуществляет СУ ГАП. К задачам верхнего уровня относятся: задание маршрутов движения транспорта (адресование), контроль и диагностика неисправностей, учет движения грузов, обеспечение согласованности работы АТНС и других систем ГАП. На нижнем уровне решаются задачи управления приводами транспортных средств, точного позиционирования транспорта, остановка транспорта в аварийных ситуациях, загрузки и выгрузки накопителей, выработки и передачи сигналов контроля и диагностики. Указанные задачи решаются с помощью микроЭВМ, обеспечивающей гибкость при решении задач нижнего уровня и связь с верхним уровнем управления, а также с помощью измерительных приборов и датчиков наличия грузов, положения транспортных средств, уровней накопительных систем, усилий, безопасности.

Необходимым условием безотказной работы АТНС является наличие системы автоматического контроля и диагностики АТНС,

являющейся частью общей системы автоматического контроля (САК) ГАП, которая рассматривается отдельно.

Складская подсистема ГАП может создаваться как набор накопительных устройств для каждого типа перерабатываемых грузов, или как многофункциональные склады для переработки грузов нескольких или даже всех видов. При этом надо учитывать, что складское хозяйство не обязательно должно представлять собой стеллажный склад с автоматическим краном-штабелером. В зависимости от выполняемых ими функций, размеров грузопотоков, запасов хранения, особенностей технологии и типа изделий они могут быть выполнены в виде столов, питателей, накопителей, напольных или подвесных, проходных или циркуляционных конвейеров (рис. 14). Возможны также «миниатюрные» технические решения. Однако, с методической точки зрения любой склад следует рассматривать как совокупность технологических участков или устройств: участок или устройство для приема грузов с внешнего транспорта, участок приема грузов по количеству и качеству (сортировка) укладки в транспортно-складскую или специальную технологическую тару с ориентацией и закреплением, устройства для передачи грузов в зону основного хранения (конвейеры, накопители, перегрузочные устройства), зона хранения (в виде стеллажей или других устройств), устройства для выдачи грузов из зоны хранения, участок комплектации и подготовки к выдаче грузов со склада с укладкой в технологическую тару, устройства для передачи грузов со склада на внутрисистемный транспорт ГАП.



Рис. 14. Классификация складов ГАП по способам складирования грузов и техническому оснащению

В некоторых случаях отдельные участки могут отсутствовать или объединяться, но выполняемые ими функции должны быть обязательно учтены при создании складов.

В зависимости от особенностей ГАП склады могут различаться по наличию стеллажных конструкций, типами и конструкцией

стеллажей и штабелирующих машин, объемом, размерами, выполняемыми функциями, типами и параметрами тары, компоновкой, уровнем и средствами автоматизации (рис. 15).

В блочных складах в каждой ячейке стеллажа грузы расположены один за другим в несколько рядов, в рядных стеллажах грузы расположены в один ряд и все доступны для штабелера. Широко применяются склады со стеллажными кранами-штабелерами, преимущество которых является легкость автоматизации, а недостатком — неудобство планировки и снижение производительности вследствие больших перемещений. Склады с мостовыми кранами-штабелерами более сложны для автоматизации, однако они более производительны, компактны и удобны для компоновки в ГАП. Склады с блочными стеллажами удобны при небольшой номенклатуре и больших количествах грузов.

При выборе типа склада необходимо учесть не только технические требования, но и требования экономические, эксплуатационные, организационные, эргономические. Управление складами так же, как и АТНС, осуществляется по иерархическому принципу, причем возможно как двухуровневое, так и трехуровневое управление. Нижний уровень управления составляют устройства локальной автоматики (приводы, пускорегулирующая аппаратура, устройства автоматического позиционирования, устройства связи с объектами управления), реализующие принципы адресования и точного позиционирования.

Функции среднего уровня по организации автоматического перемещения грузов на складе, учету наличия, прибытия и отправки грузов, приему и обработке управляющей информации, выдаче информации о работе склада осуществляет ЭВМ системы управления АС. Общее управление и планирование работы склада осуществляется на верхнем уровне ЭВМ СУ ГАП. В небольших ГАП функции двух верхних уровней могут выполняться одной ЭВМ СУ ГАП.

Одним из наиболее сложных вопросов, решаемых при создании ГАП, является обеспечение рациональности компоновки складов, основным требованием к которой является максимальное приближение складов к технологическому оборудованию. Тогда, например, кран-штабелер может стыковаться с технологическим оборудованием, упрощается транспорт, повышается надежность. Компоновка складских систем зависит от вида производства, производственной программы, типов внешнего и внутреннего транспорта, особенностей здания, типа и оборудования складов.

Для АС и АТНС характерен модульный принцип построения, что облегчает решение задач управления, резко снижает затраты времени и средств при создании ГАП различных видов.

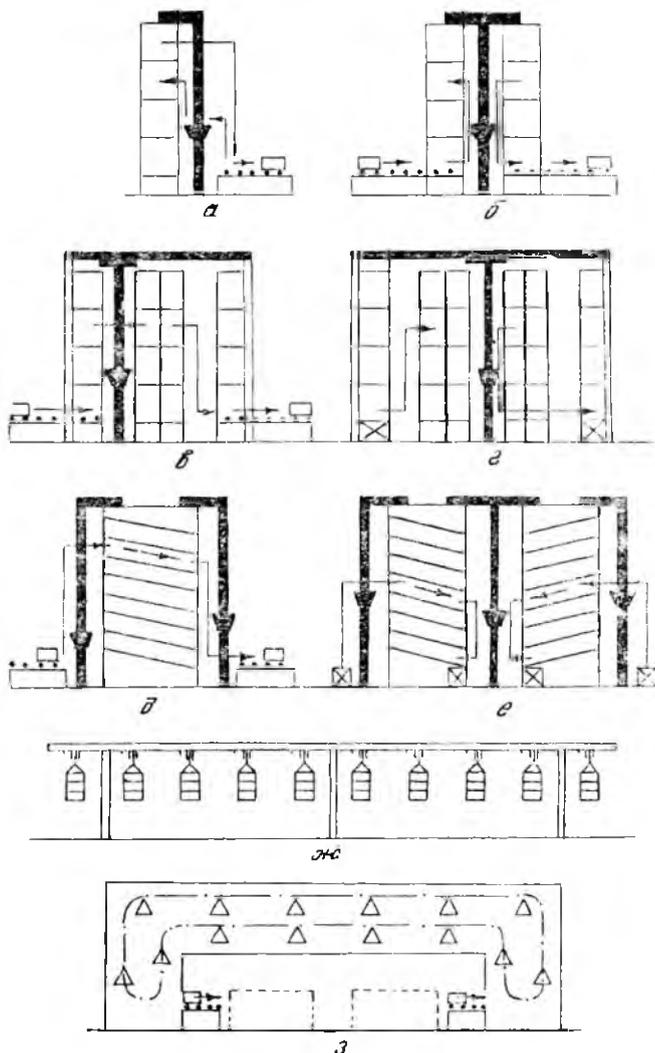


Рис. 15. Варианты автоматизированных складов: а, б — со стеллажными кранами-штабелерами; в, г — с мостовыми кранами-штабелерами; д, е — с гравитационными стеллажами, где перемещение грузов в блоках стеллажа происходит под действием веса; ж — подвесной склад на основе подвешенного толкающего конвейера; з — элеваторный склад

3.5. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАП

Основу ГАП составляет оборудование с ЧПУ, управление которым сводится к передаче данных, настраивающих оборудование на выполнение ряда действий, которые в дальнейшем реализуются автоматически в течение заданного периода времени. Система управления каждой единицей технологического оборудования обеспечивает управление порядком его функционирования, формирование данных о нормальном и аварийном завершении операций, контроль за исправностью управляющих устройств и управляемого оборудования. Несколько самостоятельных единиц оборудования с присущей им способностью самостоятельного функционирования могут объединяться в единые комплексы — ГПМ — посредством единой системы управления от ЭВМ. Управление ГПМ идентично управлению отдельной единицей оборудования, поскольку с точки зрения организации управления ГПМ рассматривается как единый объект с программным управлением. Отдельные единицы оборудования, входящие в ГПМ, могут иметь собственные средства управления, в том числе с микроЭВМ. В этом случае управление ГПМ организуется по двухуровневой схеме, согласно которой средства управления единицей оборудования решают локальные задачи управления, а загрузка этих устройств программами осуществляется от ЭВМ ГПМ.

ГАП строится как совокупность ГПМ, модулей АТНС и АС, обладающих собственными системами управления с ЭВМ (рис. 16).

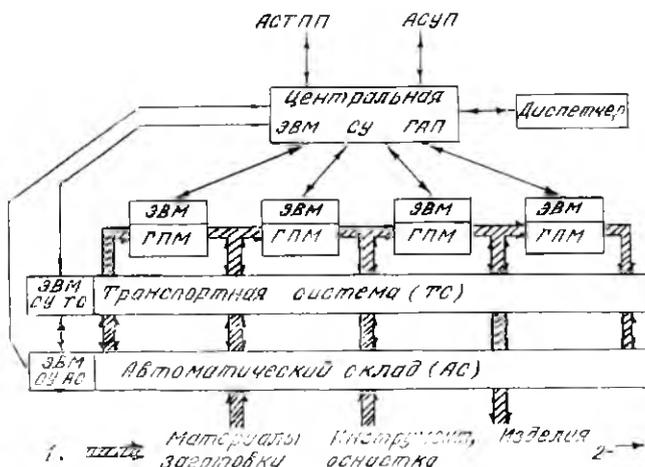


Рис. 16. Функциональная схема управления ГАП

Эти системы образуют первый уровень управления ГАП, на котором решаются следующие задачи.

1. Анализ и перевод команд управления модулями АС, АТНС и ГПМ в последовательность микрокоманд управления оборудованием.

2. Отработка прерывания по нормальному и аварийному завершению микрокоманд и операций с передачей информации на верхний уровень управления.

3. Контроль количества отходов для обращения к ЭВМ АТНС.

4. Контроль за ходом выполнения микрокоманд оборудованием с помощью встроенной системы автоматического контроля (САК).

5. Компенсация случайных сбоев оборудования.

6. Анализ работоспособности оборудования.

7. Контроль и компенсация износа инструмента и погрешностей оборудования (подналадка).

8. Тестирование оборудования.

9. Аварийный останов при нарушении границ рабочей зоны (ограждения).

Совместное функционирование модулей АТНС, АС и ГПМ обеспечивается вторым уровнем управления с помощью ЭВМ СУ ГАП (см. рис. 16), выполняющей функции загрузки ЭВМ первого уровня управления программами функционирования в соответствии с планом производства изделий и функции синхронизации работы всех компонентов исполнительной системы ГАП согласно технологии и плану выпуска изделий. Загрузка сводится к передаче программ из ЭВМ СУ ГАП в ЭВМ ГПМ, АТНС и АС, чем и достигается переналадка производства. Синхронизация осуществляется путем инициирования работы соответствующих компонентов в заданные моменты времени согласно циклограмме (временной диаграмме) и текущему состоянию каждого компонента ГАП. Инициирование, как и контроль состояния, достигается путем обмена данными и командами между ЭВМ СУ ГАП, ЭВМ ГПМ, АТНС и АС, причем обмен командами может осуществляться между ЭВМ первого уровня, что разгружает ЭВМ СУ ГАП для более качественного решения следующих задач второго уровня управления.

1. Загрузка суточного задания через локальную сеть в виде множества технологических процессов.

2. Учет распоряжений оператора ГАП.

3. Учет заполнения склада.

4. Распределение технологических процессов по ГПМ, модулям АТНС и АС.

5. Дополнение технологических процессов операторами переме-

щений (программы управления роботами, транспортными устройствами).

6. Диспетчерское управление выполнением технологических процессов.

7. Учет состояния элементов ГАП по информации от их систем управления.

8. Тестирование сетей связи с ЭВМ первого уровня управления.

9. Принятие решений по исключению аварийных элементов.

10. Обращение к ремонтной службе.

11. Обращение к оператору ГАП при невозможности принятия решений по аварийным ситуациям.

12. Статистика аварий и сбоев.

13. Учет готовой продукции, брака, незавершенного производства, инструмента за различные календарные сроки.

14. Формирование отчетности.

15. Контроль состояния инструмента и принятие решений по его замене.

СУГАП может иметь информационные связи с АСТПП и АСУП, ЭВМ которых обеспечивают третий уровень управления (см. рис. 16). АСТПП обеспечивает решение всех задач по обработке партии изделий, результаты решения выдаются в терминах микрокоманд управления элементами ГАП. АСУП обеспечивает оперативное и календарное планирование, а также учет производства.

3.6. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГАП

Для обеспечения высокого качества изделий и безотказного течения безлюдного производственного процесса в ГАП необходимо обеспечить автоматический контроль и диагностирование состояния всех звеньев ГАП от режимов работы технологического оборудования до правильности выполнения всех программ в вычислительной сети системы управления, которые осуществляются в реальном времени производственного цикла. Мелкосерийность, характерная для ГАП, требует применения универсальных средств, процедур и методов контроля. Безлюдность многократно усложняет эту и без того сложную задачу.

САК невозможно выделить в отдельном материальном виде, она распределена по всем элементам ГАП. Однако, если исходить из условия выполнения перечисленных выше функций, САК в информационном смысле является неотъемлемой частью ГАП и решает следующие задачи.

1. Получение и предоставление информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном положении контролируемых объектов (изделий, оборудования и т. п.), а также о состоя-

нии технологической среды и производственных условий. Одной из особенностей этой задачи является необходимость контроля условий производства, связанных с техникой безопасности. В основном контроль сводится к обеспечению безопасности операторов, сохранению оснастки и оборудования в порядке для предупреждения неисправностей, чреватых тяжелыми последствиями, путем профилактики и вмешательства САК с целью вывода систем ГАП в номинальные режимы.

2. Передача информации о рассогласованиях с моделями производственного процесса для принятия решений на различных уровнях управления ГАП.

3. Получение и предоставление информации об исполнении функций элементами исполнительной системы ГАП.

Важность функций и сложность задач, решаемых САК, обуславливает требования к САК по обеспечению автоматической перестройки средств контроля в пределах заданной номенклатуры контролируемых объектов, по соответствию динамических характеристик САК динамическим характеристикам контролируемых объектов, по полноте и достоверности контроля, в том числе контроля преобразования и передачи информации, по надежности средств контроля.

Типовая структура САК включает три уровня. Верхний уровень обеспечивает общий контроль совокупности модулей ГАП для координации их взаимодействия, перенастройки и ремонта, выдачу информации на пульт оператору ГАП. На верхнем уровне с помощью ЭВМ (возможно ЭВМ СУ ГАП) решаются задачи получения, обработки и обобщения информации, поступающей со стоящего ниже уровня, контроля объема и качества продукции и материально-технического обеспечения, контроля за выполнением совокупности операций каждым модулем ГАП, самоконтроля и контроля функционирования стоящего ниже среднего уровня. Средний уровень обеспечивает контроль каждого модуля АТНС, АС, ГПМ, обеспечивает предоставление на верхний уровень обобщенной информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном положении контролируемых объектов и элементарных автоматических составляющих (ЭАС) каждого модуля ГАП. На среднем уровне с помощью ЭВМ СУ модулями решаются задачи получения и обработки информации о контролируемых параметрах объекта, параметрах функционирования модулей и их ЭАС, параметрах технологической среды, передачи информации на верхний уровень, контроль качества обработки на ЭАС, входящих в состав модулей, контроля за исполнением операций, самоконтроля и контроля функционирования нижнего уровня САК. Нижний уровень

обеспечивает контроль объектов обработки, технического состояния и пространственного положения отдельных компонентов ЭАС всех модулей. На нижнем уровне, технические средства которого определяются спецификой компонентов ЭАС (для станка, например, датчики касания, усилия резания, для робота — датчики положения и т. п.) решаются задачи получения, обработки и передачи на средний уровень информации о контролируемых параметрах и функциях объекта обработки и компонентов ЭАС, контроля за исполнением переходов, контроля функционирования компонентов ЭАС, предоставляется информация в систему технического обслуживания для прогнозирования постепенных отказов оборудования и инструмента.

При разработке САК ГАП необходимо:

установить принципы — степень централизации контроля, уровень автоматизации и совмещения с обработкой, использование статистических методов, полнота контроля и т. д.;

выявить и оптимизировать номенклатуру и характеристики измеряемых параметров продукции, режимов работы модулей ГАП, работоспособности оборудования, приспособлений и инструмента;

определить состав и формы предоставления информации в САК и из САК в СУ ГАП;

выбрать средства измерений с учетом требований точности и надежности;

определить характеристики надежности оборудования, приспособлений, инструмента, периодичность контроля;

установить функциональные связи САК в общей системе ГАП.

Одной из основных задач построения САК является распределение функций контроля по уровням и оптимизация состава средств контроля по уровням. При этом необходимо придать нижнему уровню САК максимальную автономность управления по результатам контроля.

Объем контроля распределяется между средством обработки в ЭАС (например, износ инструмента, характеристики электролита), объектом обработки в ЭАС (размеры, форма, толщина покрытия), компонентами ЭАС во времени и в пространстве (контроль в зоне обработки, контроль роботом-манипулятором, контроль при транспортировке транспортным роботом), между модулями ГАП.

Система автоматического контроля в ГАП, функционирующем в составе ИПК, имеет связи с внешними для ГАП системами ИПК. АСУП обеспечивает планирование объемов контроля САК, АСНИ обеспечивает построение моделей изделий, выявление информативных параметров и определение видов контроля по функционирова-

нию изделий. САПР обеспечивает построение математических моделей всех деталей изделия, обеспечивает их автоконтролируемость, оптимизирует номенклатуру контролируемых параметров, осуществляет выбор средств и методов контроля деталей. АСПП обеспечивает выбор видов и маршрутов контроля, оптимизацию межоперационного контроля по уровням.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Белянин П. Н. Промышленные роботы и их применение: Робототехника для машиностроения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 311 с.

Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 376 с.

Роботизированные производственные комплексы /Ю. Г. Козырев, А. А. Кудинов, В. Э. Булатов и др.; Под ред. Ю. Г. Козырева, А. А. Кудинова. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.

Белянин П. Н. Робототехнические системы для машиностроения. М.: Машиностроение, 1986. 256 с.

Гибкое автоматическое производство /В. О. Азбель, В. А. Егоров, А. Ю. Звоницкий и др.; Под ред. С. А. Майрова, Г. В. Орловского, С. Н. Холкинова. Л.: Машиностроение, 1985. 454 с.

Логашев В. Г. Технологические основы гибких автоматических производств. Л.: Машиностроение, 1985. 176 с.

Организационно-технологическое проектирование ГПС /В. О. Азбель, А. Ю. Звоницкий, В. Н. Каминский и др.; Под ред. С. П. Митрофанова. Л.: Машиностроение, 1986. 294 с.

Системное проектирование интегрированных производственных комплексов /А. Н. Домарацкий, А. А. Лескин, В. М. Пономарев и др. Под ред. В. М. Пономарева. Л.: Машиностроение, 1986. 319 с.

Вальков В. М. Контроль в ГАП. Л.: Машиностроение, 1987. 232 с.

Маликов О. Б. Склады гибких автоматических производств. Л.: Машиностроение, 1986. 187 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие сведения о промышленных роботах	4
1.1. Основные понятия и определения	4
1.2. Классификация ПР	10
1.3. Конструктивные особенности ПР	15
2. Робототехнические комплексы (РТК)	20
2.1. Основные особенности и принципы построения производственных процессов с применением ПР	20
2.2. Основные схемы применения ПР в РТК	23
2.3. Робототехнические комплексы в цехах основного производства	27
3. Гибкие автоматические производства	35
3.1. Общие положения	35
3.2. Принципы построения и эксплуатации гибкого автоматического производства	38
3.3. Требования к технологическому оборудованию ГАП	42
3.4. Автоматические транспортно-накопительные системы и автоматические склады ГАП	44
3.5. Системы управления ГАП	49
3.6. Система автоматического контроля ГАП	51
Библиографический список	54

*Игорь Николаевич Желтов,
Виктор Александрович Звягинцев*

**ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ
И ГАП**

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор П. М. Каленюк
Корректор Н. Д. Чайникова

Свод. тем. пл. № 71
Сдано в набор 8 08.89 г. Подписано в печать 20.09.89 г.
ЕО 00291. Формат 60 × 84 1/16.
Бумага оберточная. Гарнитура литературная. Печать
высокая. Уч.-изд. л. 3,0. Усл. п. л. 3,2. Т. 500 экз.
Заказ 628. Цена 15 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Короле-
ва, 443086, Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Тип. ЭОЗ КуАИ, 443001, Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.