

В. Г. Хомченко, А. В. Федотов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие



2005

УДК 658.5.012.011.56 (075)

ББК 32.965 я73

X 76

Рецензенты:

С. М. Кулаков, д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Системы автоматизации» Сибирского государственного индустриального университета;

В.С. Щербаков, д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Атоматизация производственных процессов и электротехника» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.

В. Г. Хомченко, А. В. Федотов

X 76 Автоматизация технологических процессов и производств:

Учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 488 с.

ISBN 5-8149-0289-2

В учебном пособии рассматриваются общие принципы построения автоматизированных и автоматических технологических систем современного производства.

Обсуждается концепция безлюдной и гибкой технологии, рассматриваются средства жесткой и гибкой автоматизации, принципы создания автоматизированных технологических комплексов и гибких производственных систем. Систематизированы вопросы автоматизации вспомогательных технологических операций, роботизации производства и использования средств мехатроники.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" и "Автоматизированные технологии и производства".

УДК 658.5.012.011.56 (075)

ББК 32.965 я73

Печатается по решению редакционно-издательского совета Омского государственного технического университета.

© Авторы, 2005

© Омский государственный

технический университет, 2005

ISBN 5-8149-0289-2

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- АЛ – автоматическая линия
АСНИ – автоматизированная система научных исследований
АСУ – автоматизированная система управления
АСУП – автоматизированная система управления производством
АСУ ГПС – автоматизированная система управления ГПС
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом
АСУ ПС – автоматизированная система управления производственной системой
АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства
АСИО – автоматизированная система инструментального обеспечения
АСС – автоматизированная складская система
АСУО – автоматизированная система удаления отходов
АТС – автоматизированная транспортная система
АТНС – автоматизированная транспортно-накопительная система
АЦП – аналого-цифровой преобразователь
ВЗУ – внешнее запоминающее устройство
ВМЗ – выходное механическое звено
ГАП – гибкое автоматическое производство
ГАУ – гибкий автоматизированный участок
ГАЛ – гибкая автоматизированная линия
ГАЦ – гибкий автоматизированный цех
ГАПС – гибкая автоматизированная производственная система (то же, что и ГПС)
ГПМ – гибкий производственный модуль
ГПС – гибкая производственная система
ИГ – измерительная головка
ИД – индуктивный датчик
ИМ – исполнительный механизм
ИУ – измерительное устройство
КИМ – координатная измерительная машина
ЛВС – локальная вычислительная сеть
ЛСУ – локальная система управления
ЛУ – логическое устройство
МК – микроконтроллер
Н – накопитель
НГМД – накопитель на гибком магнитном диске
ПК – программируемый контроллер
ПМО – программно-математическое обеспечение
ПС – производственная система

ПО – программное обеспечение
ППС – приёмно-передающий стол
ПР – промышленный робот
ПЭВМ – персональная электронная вычислительная машина
РТК – робототехнический комплекс
САД – система автоматического дозирования
САК – система автоматического контроля
САП – система автоматизированного программирования
оборудования с ЧПУ
САПР – система автоматизированного проектирования
САПР/АПП (CAD/CAM) – интегрированная система
автоматизированного проектирования и управления производством
СИ – система инструмента
СОУ – система оперативного управления производством
СПБ – стабилизированный блок питания
СУ – система управления
СУ ГПМ – система управления ГПМ
ТА – технологический автомат
ТМ – транспортная магистраль
ТО – технологическое оборудование
УВК – управляюще-вычислительный комплекс
УКС – устройства каналов связи
УНП – универсально наладочные приспособления
УП – управляющая программа
УСО – устройство сопряжения с объектом
УСОП – устройство для связи с оперативным персоналом
УЧПУ – устройство числового программного управления
ФКО – формирователь окончательной команды
ФКП – формирователь предварительной команды
ФНЧ – фильтр низкой частоты
ФЧД – фазочувствительный детектор
ХТС – химико-технологическая система
ЦАП – цифроаналоговый преобразователь
ЧПУ – числовое программное управление
ЭВМ – электронная вычислительная машина
ЭДС – электродвижущая сила
SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition System (система
сбора данных и оперативного диспетчерского управления)

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение объема выпуска продукции и снижение ее себестоимости неизбежно связаны с автоматизацией производственных процессов. Автоматизация производства влечет за собой повышение производительности труда, рост объемов выпуска продукции, повышение качества продукции, сокращение доли человеческого труда в производственном процессе и интеллектуализацию человеческого труда. Прогресс производительных сил общества в современных условиях определяется степенью автоматизации производства. В странах с более высоким уровнем автоматизации производства обеспечивается более высокий уровень жизни населения.

Автоматизация производства в развитых странах идет высокими темпами и влечет за собой сокращение доли населения, участвующего в производстве. Предполагается, что в промышленном производстве развитых стран будет занято только около двух процентов трудоспособного населения. Это будут, в основном, специалисты высокой квалификации.

Основу производства представляют технологические процессы разного назначения. Автоматизация технологических процессов является наиболее сложной задачей. Современные средства автоматизации представляют комплекс машин и механизмов с электронными и компьютерными системами управления.

Несмотря на разнообразие технологических процессов в различных видах производства, их автоматизация базируется на общих принципах. Знание этих принципов позволяет специалисту по автоматизации работать на разных производствах и легко адаптироваться к решению конкретных задач автоматизации. Наибольший опыт автоматизации технологических процессов накоплен в области машиностроения и приборостроения. Именно для этих отраслей разработаны и широко используются многочисленные средства автоматизации различного назначения, которые находят применение и в других отраслях (например, широко распространенные промышленные роботы).

Рассматривая производство в целом как объект автоматизации, следует выделить производства массовые, характеризующиеся большими объемами выпуска продукции ограниченной номенклатуры, и производства многономенклатурные (серийные), характеризующиеся выпуском ограниченных по величине партий продукции широкой номенклатуры. Для массовых производств первостепенное значение имеет обеспечение высокой производительности. Для многономенклатурных производств большое значение приобретает фактор гибкости производства, заключающийся в возможности автоматизированной перестройки производства при смене выпускаемой продукции.

1 ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

1.1 Современная концепция автоматизации производства



Рис. 1. Этапы производства

Промышленное производство призвано удовлетворять потребности общества в промышленной продукции. При возникновении в обществе потребности в новой или модернизированной промышленной продукции (возникновение спроса на продукцию) потенциальный производитель осуществляет ее проектирование и подготовку производства, после чего начинается само производство (рис. 1). Производство продукции продолжается пока существует спрос на нее, и реализация продукции приносит прибыль.

В производственном процессе выпуска новой или модернизированной продукции можно выделить ряд основных этапов. На первом этапе осуществляется проектирование продукции, в процессе которого разрабатывается техническая документация (технический проект и рабочая документация) на продукцию и проводятся необходимые исследования для обеспечения требуемого уровня потребительского качества продукции.

На основании разработанного проекта осуществляется проектирование технологии изготовления продукции и подготовка ее производства. После завершения пуско-наладочных работ и приемно-сдаточных испытаний оборудования и технологических процессов начинается непосредственно производство продукции, которая реализуется конечным потребителям.

Каждый этап производственного процесса требует определенного (порой весьма значительного) времени и привлечения материальных и людских ресурсов. Все это обуславливает необходимые затраты на производство продукции. Производство может существовать и развиваться только в том случае, когда цена реализации продукции выше затрат на ее производство и производителю обеспечивается достаточная прибыль. В то же время в условиях рыночного хозяйства производитель стремится к максимальной прибыли.

Увеличению прибыли способствуют следующие обстоятельства:

- сокращение сроков на освоение выпуска новой или модернизированной продукции с целью опережения конкурентов и монополизации ценообразования на продукцию (возможность установления максимальной цены продукции);
- сокращение затрат на проектирование продукции, подготовку ее производства и само производство;
- повышение потребительского качества продукции и ее конкурентной способности.

Для сокращения временных затрат необходимо либо привлечение дополнительных материальных и людских ресурсов, либо интенсификация производственных процессов на всех этапах производства, либо сочетание обоих факторов. Наиболее предпочтителен путь интенсификации производства, который связан с необходимостью повышения производительности труда. Основным средством повышения производительности производственных процессов является их автоматизация.

В развитых странах до 80 % производственных затрат составляет оплата труда участвующих в производстве людей. Следовательно, доминирующим фактором сокращения производственных затрат является сокращение в производстве доли человеческого труда, что опять-таки требует автоматизации производства.

Повышение производительности труда позволяет в приемлемые сроки провести большой объем исследований, большой объем работ по доводке продукции и технологии ее изготовления, оптимизировать продукцию и ее производство. Это влечет повышение потребительского качества продукции и ее конкурентную способность.

Таким образом, основным средством повышения эффективности производства является его комплексная автоматизация. Комплексная автоматизация предполагает автоматизацию как интеллектуальных функций людей, занятых в производстве, так и их физических функций, связанных с производством. Необходима автоматизация: процессов проектирования новой или модернизированной продукции; процессов научных исследований, выполняемых в интересах производства; процессов подготовки производства; процессов управления производством и технологическими процессами; а также самих технологических процессов производства продукции.

Подход к решению задачи автоматизации производства зависит от объема производства данного вида продукции. По этому признаку производство может быть массовым и многономенклатурным (серийным). При массовом производстве продукция определенного вида производится в больших количествах и в течение продолжительного периода времени. Серийное производство характеризуется большой номенклатурой

производимой продукции, выпускаемой ограниченными партиями с частыми сменами вида продукции.

При автоматизации массового производства допустимы значительные затраты на автоматизацию производства данного вида продукции, поскольку их компенсация требует приемлемого роста цены продукции. Например, затраты на автоматизацию производства в 500 тыс. руб. при производстве партии изделий в 500 тыс. шт. могут быть компенсированы повышением цены одного изделия всего на 1 руб.. Следовательно, при массовом производстве допустимо (и в большинстве случаев желательно) использование специальных и специализированных средств автоматизации, предназначенных только для производства данной продукции и реализующих конкретные технологические процессы. Основной целью автоматизации массового производства является получение наивысшей производительности при выпуске определенной продукции.

Типичными примерами продукции массового производства являются подшипники качения, патроны к стрелковому оружию массового применения, одноразовые медицинские шприцы и др. Эта продукция производится непрерывно в течение многих лет без всяких изменений и потребляется в больших количествах.

Основными средствами автоматизации массового производства являются цикловые автоматы и автоматические линии с жестким рабочим циклом. Отсутствие необходимости перестройки рабочего цикла автомата или редко возникающая необходимость позволяют использовать в таких автоматах кулачковые и рычажные механизмы с заданной траекторией движения, кулачковые системы управления, командоаппараты и цикловые системы управления с аппаратной реализацией.

Технологические автоматы специального и специализированного назначения используются для автоматизации различных технологических операций. В области машиностроения и металлообработки, например, нашли широкое применение кулачковые токарные автоматы для изготовления фасонных деталей; копировальные автоматические станки токарной, фрезерной и шлифовальной групп; многорезцовые станки автоматы; многошпиндельные станки автоматы и др.

Иначе обстоит дело при многономенклатурном производстве. При выпуске, например, партии изделий в 100 шт. отсутствует реальная возможность (с точки зрения экономической эффективности) компенсации больших затрат на автоматизацию производства именно данного вида изделия. Значительные затраты на автоматизацию производства здесь окупятся только в том случае, если используемые средства автоматизации пригодны для производства и других видов изделий, т.е. обладают определенной универсальностью.

Следовательно, автоматизация многономенклатурного производства должна быть гибкой и обеспечивать возможность оперативного перехода на выпуск иного вида продукции. При этом сам такой переход, связанный с перестройкой технологических процессов, должен осуществляться либо автоматически, либо в автоматизированном режиме с наименьшими дополнительными затратами. Таким образом, автоматизация многономенклатурного производства существенно отличается от автоматизации массового производства и требует более сложных принципиальных решений по сравнению с массовым производством.

Если учесть, что массовое производство промышленной продукции занимает менее 20 % в общем объеме производства, то становится очевидной актуальность гибкой автоматизации.

В основе современного автоматизированного производства лежит концепция "безлюдной" и гибкой технологии. "Безлюдная" технология предполагает высокий уровень автоматизации всех производственных процессов с сокращением доли человеческого труда на производстве в 20 и более раз. Предполагается, что полномасштабная реализация этой концепции приведет к тому, что в промышленном производстве ведущих стран будет занято только около 2 % трудоспособного населения.

Гибкая технология означает возможность выпуска в автоматизированном производстве произвольной номенклатуры изделий в любых количествах (вплоть до индивидуального производства). При этом все процессы создания или модернизации продукции и перестройки производства осуществляются в автоматизированном режиме.

Гибкая технология актуальна для производств с большой номенклатурой выпускаемой продукции при частом обновлении этой номенклатуры. Гибкая технология основана на широком использовании принципов программного управления, когда изменение управляющей программы ведет к изменению рабочего цикла объекта управления, что позволяет перестраивать рабочие циклы простой заменой управляющих программ.

1.2 Этапы и средства автоматизации производства

Предшественником автоматизации явилась комплексная механизация производства, в процессе которой физические функции человека в производственном процессе выполнялись с помощью механизмов с ручным управлением. Труд человека при этом облегчался физически, и его основной деятельностью становилось управление механизмами. Механизация направлена на облегчение условий человеческого труда и повышение его производительности.

По мере развития механизации возникает задача полной или частичной автоматизации управления механизмами. В результате решения этой задачи создаются технологические автоматы, способные в большей или меньшей степени выполнять производственные функции без участия человека. Возникновение и распространение технологических автоматов положило начало автоматизации производства.

В развитии автоматизации можно выделить ряд последовательных этапов, каждый из которых характеризуется появлением новых средств автоматизации и расширением состава объектов автоматизации производства. Укрупненно, применительно к промышленному производству, можно выделить следующие основные этапы автоматизации.

1. Автоматизация массового производства. При массовом производстве промышленной продукции задача повышения производительности труда стоит особенно остро. Здесь возможны значительные затраты на средства автоматизации, поскольку будучи отнесенными к единице продукции (при большом числе единиц продукции), они приводят к приемлемому росту ее цены.

В результате становится целесообразным создание и использование в производстве специализированных и специальных технологических автоматов. Каждый такой автомат рассчитан на единственную технологическую операцию или ограниченный набор технологических операций при производстве определенного изделия. Задача перестройки автомата на выпуск других изделий либо ставится в ограниченном объеме, либо не ставится вовсе.

Основной целью автоматизации является получение максимальной производительности. Технологический процесс изготовления изделия разбивается на простые операции малой длительности, которые можно выполнять параллельно на разных технологических автоматах.

Из технологических автоматов создаются поточные линии в соответствии с последовательностью технологических операций процесса изготовления изделия. Дальнейшее повышение уровня автоматизации достигается путем автоматизации межоперационного транспорта и промежуточного складирования (межоперационные накопители полуфабрикатов). Результатом такой комплексной автоматизации технологического процесса является создание автоматических линий.

Автоматическая линия реализует в автоматическом режиме технологический процесс изготовления определенного изделия. Автоматическая линия для достижения наивысшей производительности строится из специального и специализированного оборудования. Создание и внедрение автоматической линии требует больших временных и материальных затрат, следовательно, такие линии экономически эффективны только при массовом производстве изделий, когда одно и то же изделие в неизменном виде выпускается непрерывно в больших

количествах в течение ряда лет. Автоматические линии имеют ограниченные возможности для переналадки на изготовление иной продукции или такие возможности вообще не предусматриваются.

Поскольку использование автоматических линий и цикловых технологических автоматов ограничено массовым и крупносерийным производством, то соответственно ограничены объемы автоматизированного производства на их основе. По разным оценкам объем массового и крупносерийного производства составляет от 15 до 20 % общего объема производства и эта доля имеет тенденцию к сокращению. Следовательно, уровень автоматизации производства с помощью автоматических линий и цикловых автоматов может составить не более 15–20 %. Реально этот уровень еще меньше.

Цикловые технологические автоматы и автоматические линии относятся к средствам "жесткой" автоматизации. С их помощью можно достичь весьма высокой производительности труда, однако область использования таких средств ограничена, и только на их основе полная автоматизация производства невозможна.

2. Автоматизация основных операций обработки многономенклатурного производства. Многономенклатурное производство предполагает изготовление разнообразных изделий партиями ограниченного объема в ограниченные сроки. Номенклатура изделий и объемы партий могут колебаться в широких пределах: от единичных изделий до партий среднесерийного производства.

При многономенклатурном производстве технологическое оборудование должно быть в значительной степени универсальным и обеспечивать переналадку и перестройку на изготовление разнообразных изделий (в пределах технологических возможностей оборудования). В случае автоматизированного производства такая переналадка и перестройка должны осуществляться в автоматизированном режиме с минимальным объемом ручных операций или с полным их исключением.

Выполнение перечисленных условий определяет "гибкую" автоматизацию. Основным принципом гибкой автоматизации является принцип программного управления технологическим оборудованием. Рабочий цикл технологического автомата при этом задается управляющей программой, содержащей кодированное описание последовательности элементов цикла с использованием определенной символики. Управляющая программа разрабатывается обособленно от управляемого оборудования и оформляется на некотором машинном носителе, что позволяет считывать ее автоматическому устройству управления технологического автомата.

Впервые этот принцип (который возник и совершенствовался при управлении ЭВМ) был реализован для автоматизации металлорежущих станков. Появились и начали широко распространяться станки с числовым

программным управлением (ЧПУ). Первые модели станков с ЧПУ из-за недостаточного совершенства требовали при изменении рабочего цикла не только замены управляющей программы, но и некоторых ручных операций для переналадки. Такие станки оказывались эффективными при обработке партий однотипных деталей объемом не менее 50–100 шт. По мере совершенствования принципов ЧПУ и технических решений этот предел постоянно снижался, и в настоящее время станки с ЧПУ эффективны даже в индивидуальном производстве.

Вначале были созданы станки с ЧПУ для определенных видов механической обработки. В последующем получили распространение многооперационные станки с ЧПУ с автоматической сменой обрабатывающего инструмента (обрабатывающие центры).

Станки с ЧПУ позволяют автоматизировать процесс обработки деталей и обладают гибкостью, поскольку способны перестраиваться на обработку деталей иной формы путем замены управляющей программы. Это обстоятельство позволяет, например, автоматизировать процесс переналадки станка и, следовательно, повышает уровень автоматизации производства.

Принцип ЧПУ, ввиду эффективности, получил распространение и для другого технологического оборудования, что позволило обеспечить гибкую автоматизацию разнообразных технологических операций. Оборудование с ЧПУ в первую очередь получило распространение в машиностроении, приборостроении и металлообработке. Однако его использование не ограничено перечисленными отраслями.

Основным недостатком оборудования с ЧПУ является отсутствие автоматизации вспомогательных операций и необходимость в ручном обслуживании оборудования. Названное обстоятельство приводит к снижению коэффициента использования оборудования до уровня 40–60 %.

3. Промышленная робототехника. Автоматизация основных операций технологических процессов привела к росту противоречия между уровнем их автоматизации и уровнем автоматизации вспомогательных операций (в первую очередь операций загрузки-разгрузки автоматизированного оборудования). В качестве средства устранения этого противоречия была предложена концепция программно-управляемого перестраиваемого автомата для выполнения вспомогательных операций по обслуживанию автоматизированного оборудования.

Такие автоматы появились в шестидесятых годах прошлого столетия и получили название промышленных роботов (ПР). Первые разработки промышленных роботов были ориентированы на замену человека при выполнении операций загрузки заготовок в технологические автоматы и разгрузки обработанных изделий. На базе технологического автомата и обслуживающего его робота создаются роботизированные

технологические комплексы (РТК), представляющие собой комплексно автоматизированные технологические ячейки.

С помощью РТК появляется возможность комплексной автоматизации отдельных технологических операций или ограниченного набора технологических операций в многономенклатурном производстве. Первые РТК с использованием простых ПР с цикловым управлением были эффективны в среднесерийном производстве. По мере совершенствования ПР (роботы с ЧПУ, адаптивные роботы, интеллектуальные роботы), повышается их гибкость и возможность эффективного применения в мелкосерийном и индивидуальном производстве.

Промышленные роботы постоянно совершенствуются. В процессе совершенствования улучшаются технические характеристики роботов, расширяются их функциональные возможности, расширяется сфера применения. В настоящее время основная масса выпускаемых ПР ориентирована на выполнение технологических операций: сварка, окраска, сборка и некоторые другие основные технологические операции. Наряду с такими роботами продолжают использоваться загрузочно-разгрузочные роботы, появились транспортные роботы и др.

4. Автоматизация управления. Управление в любом производстве требует решения большого объема задач по сбору и обработке информации, принятию решений и контролю их исполнения. Для решения задач управления привлекаются значительные людские ресурсы. Качество решения управленческих задач в существенной мере определяет результат производства.

Возможность автоматизации управления появилась с развитием и широким распространением ЭВМ, когда ЭВМ стали доступны для использования отдельными предприятиями. Появилась возможность автоматизации (с помощью ЭВМ и соответствующего программного обеспечения) процессов сбора и обработки информации, необходимой для принятия управленческих решений и контроля хода производства. С использованием ЭВМ стали решаться задачи планирования производства, задачи материального обеспечения, задачи учета труда и заработной платы, а также ряд других задач управления производством.

Решение таких задач не было жестко привязано во времени к производственным процессам и могло осуществляться в "машинном" времени ЭВМ, т.е. в течение такого временного периода, который требуется для выполнения соответствующей программы ЭВМ. Характерным для этого этапа автоматизации явилось создание на производстве централизованных вычислительных центров для решения задач управления. Связь между ЭВМ и производством, в основном, осуществлялась с использованием оперативного персонала.

Подобные централизованные системы получили название автоматизированных систем управления производством (АСУП). АСУП

обеспечивает решение задач организационного и диспетчерского управления производством. Основной эффект от внедрения АСУП заключается в сокращении времени, необходимого для принятия управленческих решений, повышении оперативности управления и его качества, а также в сокращении управленческого персонала, занятого рутинной обработкой информации.

Значительный объем управления в производстве приходится на задачи оперативно-технического управления производственным оборудованием и технологическими процессами. Для автоматизации решения этих задач необходимо обеспечить непосредственную связь между управляющей ЭВМ и объектами управления. Кроме того, задачи оперативно-технического управления должны решаться в реальном времени управляемого процесса.

Поэтому наряду с АСУП появились системы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП), которые обеспечивают в автоматизированном режиме решение задач оперативно-технического, диспетчерского и организационного управления отдельными технологическими процессами производства. Интеграция АСУ ТП с автоматизированным технологическим комплексом обеспечивает реализацию концепции безлюдной технологии в производстве.

5. Автоматизация инженерного труда. Производство требует затрат высококвалифицированного труда специалистов – инженеров. Инженеры разрабатывают новую продукцию, проводят научные исследования и испытания, разрабатывают новые технологические процессы и модернизируют старые. Без инженерного труда невозможен прогресс производства. Затраты на оплату инженерного труда в производственных расходах составляют значительную долю (по стандартам промышленно развитых стран).

Стремление повысить эффективность инженерного труда, сократить материальные и временные затраты на проектирование новой или модернизированной продукции, на проведение исследований, на подготовку производства привело к появлению соответствующих автоматизированных систем. Основой таких систем явилось использование ЭВМ, поскольку инженерный труд – интеллектуальный труд. Типичные инженерные задачи являются эвристическими задачами, опирающимися на значительный объем рутинных работ.

Рутинные работы (получение справочной информации, оформление результатов, оформление чертежей и текстовых документов и др.) в большинстве случаев поддаются алгоритмизации (описанию в виде детерминированной последовательности простых операций) и, следовательно, их можно автоматизировать, используя ЭВМ. В принципе, автоматизировать можно любые процессы, поддающиеся алгоритмизации.

Средством автоматизации инженерного труда являются програм-мно-технические комплексы на базе ЭВМ: системы автоматизации проектирования (САПР), автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП). Первые две системы используются конструкторами и исследователями для разработки новой или модернизации существующей продукции. Результатом их работы являются технические и рабочие проекты новой продукции.

Для реализации этих проектов необходимо выполнить подготовку производства спроектированной продукции. Эта задача возлагается на специалистов-технологов, осуществляющих проектирование новых технологических процессов или модернизацию существующих. Для автоматизации труда технологов (тех работ, которые поддаются алгоритмизации) предназначены АСТПП. Использование АСТПП позволяет повысить эффективность подготовки производства, сократить материальные и временные затраты на этот процесс, повысить качество результатов и сократить затраты человеческого труда.

6. Интеграция автоматизированных производственных систем в единое гибкое автоматизированное производство (ГАП). Интеграция заключается в совместном использовании и взаимодействии перечисленных выше систем автоматизации для достижения конечной цели производства. При этом системы автоматизации интеллектуальных функций человека (проектирование, управление, исследования, разработка технологий) используют общие базы данных, что обеспечивает прямой обмен информацией между ними.

В ГАП основным принципом управления оборудованием и процессами является программное управление от ЭВМ, что обеспечивает перестройку производства на выпуск новой или модернизированной продукции программным путем (заменой управляющих программ) в автоматизированном режиме. В результате производство приобретает свойство гибкости и реализует концепцию гибкой технологии. Комплексная автоматизация человеческого труда позволяет сократить долю человеческого труда в ГАП в 20 раз по сравнению с традиционным производством. Такое производство реализует концепцию безлюдной технологии.

В условиях ГАП автоматизированы как физические, так и интеллектуальные функции человека. Для автоматизации интеллектуальных функций основным средством являются ЭВМ. Поэтому ГАП часто называют интегрированным и компьютеризированным производством.

В составе технологического автомата можно выделить: технологическую машину, предназначенную для выполнения требуемой технологической операции (или их набора); загрузочно-разгрузочное устройство, предназначенное для автоматической подачи заготовок на

рабочую позицию технологической машины и удаления обработанных изделий; устройство управления, обеспечивающее требуемый рабочий цикл автомата.

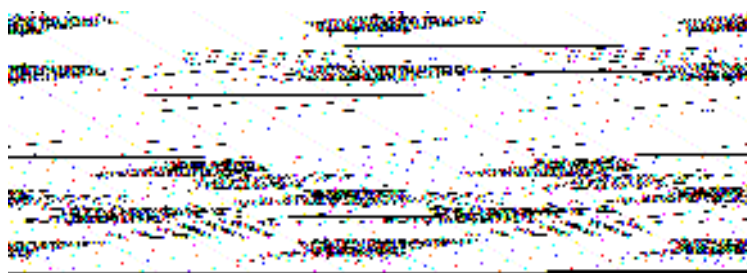


Рис. 3. Взаимодействие автомата со средой

Накопитель заготовок обеспечивает автомат необходимым запасом заготовок для автоматической работы в течение заданного времени. Изготовленные изделия удаляются в накопитель изделий.

Автомат функционирует в определенной производственной или технологической среде, с которой взаимодействует (рис. 3).

С внешней технологической средой автомат связан через материальный и информационный потоки. Материальный поток включает движение поступающих в автомат заготовок и материалов, удаляемых обработанных изделий и технологических отходов. Информационный поток автомата определяется поступающими извне командами и управляющими сигналами, а также информационными сигналами, генерируемыми устройствами автомата и несущими информацию о его состоянии. Для "жесткого" автомата информационный поток минимален. Этот поток определяется ограниченным набором команд, поступающих извне, и осведомительных сигналов, выдаваемых системой управления автомата (например, команды: "пуск", "стоп", "режим" и др.; сигналы: "автоматическая работа", "наладка" и др.).

На рис. 4 приведен пример автомата для механической обработки деталей. Этот автомат осуществляет сверление отверстий в небольших деталях и выполнен на базе двухшпиндельного сверлильного станка. Станок оснащен бункерным загрузочным устройством 4, из которого заготовки поштучно выдаются в ориентированном положении на транспортные лотки 3 и скатываются в двухместное зажимное приспособление 1.

Зажим ориентированных заготовок осуществляется с использованием управляемого пневматического привода 2. После зажима заготовок кулачковый механизм 5 обеспечивает рабочую подачу шпинделей 8 для выполнения операции сверления.

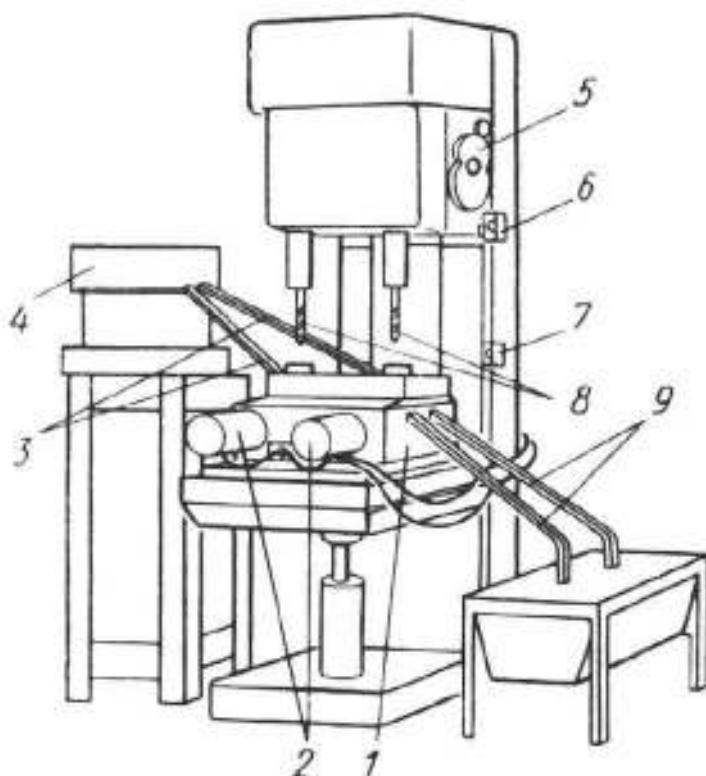


Рис. 4. Сверлильный автомат

После сверления и отвода шпинделей происходит освобождение обработанных деталей, и по отводящим лоткам 9 они скатываются в приемную тару. Конечные выключатели 6 и 7 используются для контроля положения рабочих шпинделей при управлении автоматом.

При жесткой автоматизации разработка средств автоматизации ведется с ориентацией на конкретный объект производства или на ограниченную номенклатуру таких

объектов.

Рассмотрим в качестве примера автоматический токарный станок, схема которого представлена на рис. 5. На передней бабке 1 станка, оснащенного автоматическим патроном 2 для зажима обрабатываемой заготовки, установлен лотковый магазин 3 для заготовок. Используются штучные заготовки в виде валиков определенной длины и диаметра. Для подачи заготовок в патрон станка применен секторный питатель 4, который захватывает заготовку из магазина и перемещает ее в патрон станка.

После окончания загрузки станка цикловая система управления станком обеспечивает требуемый рабочий цикл обработки. Обработанная деталь гидравлическим механизмом 5 удаляется из патрона станка.

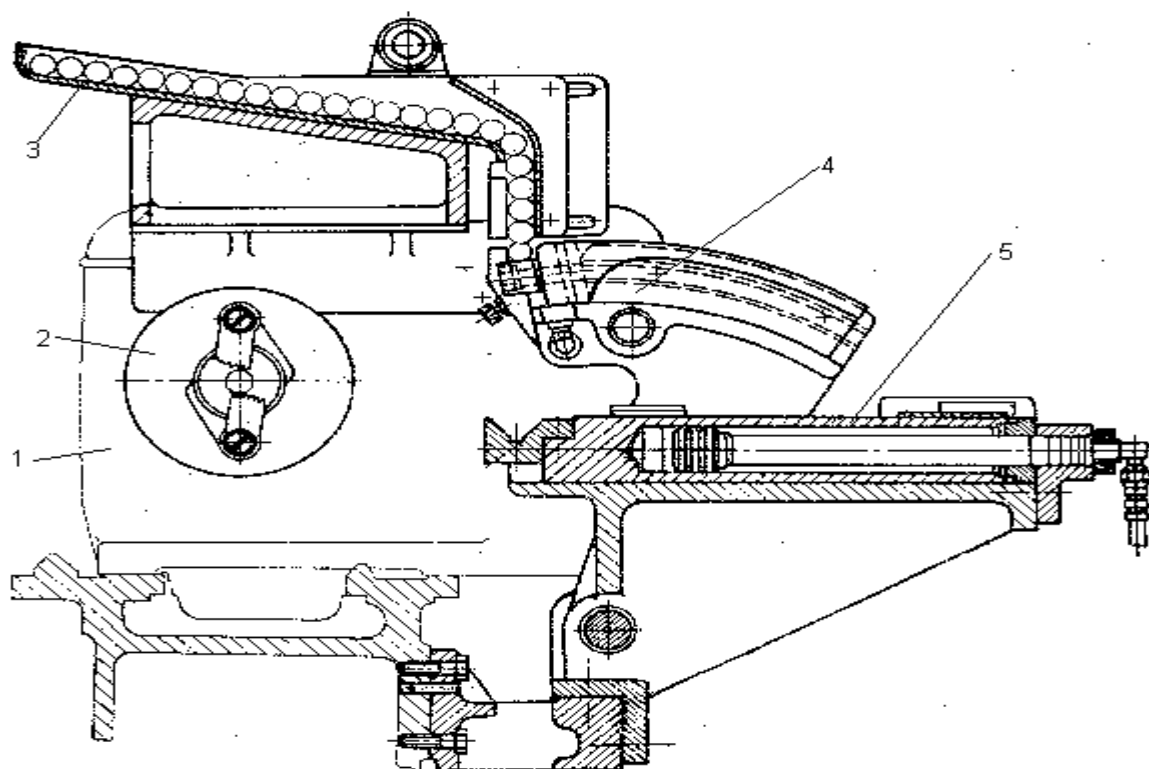


Рис. 5. Токарный автомат

При изменении размеров обрабатываемой заготовки необходимо изменить настройку патрона станка (при этом может потребоваться замена кулачков), настроить лоток магазина, заменить и настроить захватные устройства питателя и разгрузочного механизма. Может потребоваться и перестройка цикловой системы управления.

Трудоемкость и стоимость таких работ значительна и экономически целесообразна только в том случае, когда затраты распределяются на большое число изготовленных между перенастройками деталей, что незначительно увеличивает себестоимость обработки. Все сказанное справедливо для любых технологических автоматов с "жестким" рабочим циклом.

Элементы системы управления автоматов связаны с их конструкцией. Используются два основных принципа управления "жесткими" технологическими автоматами: механическое управление от профилированных кулачков и цикловое управление с получением информации о состоянии автомата от предусмотренных в конструкции автомата датчиков.

На рис. 6 показана кулачковая система управления технологическим автоматом. В качестве примера рассмотрен автоматический токарный металлорежущий станок.

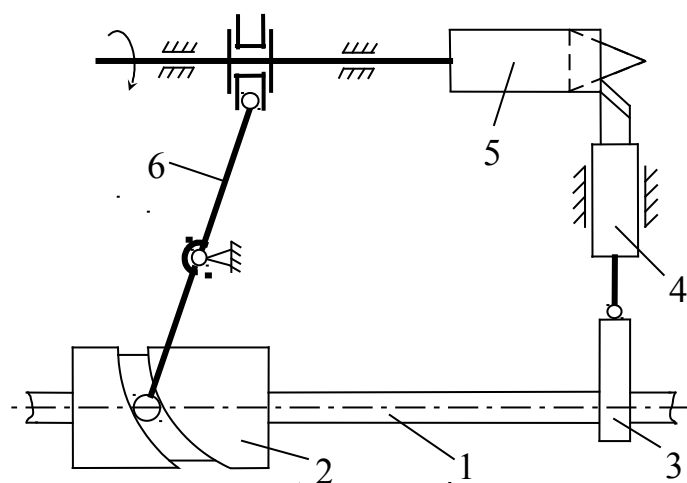


Рис. 6. Кулачковое управление

Для управления рабочим циклом автомата используется кулачковый вал 1 с закрепленными на нем кулачками 2 и 3. Вал вращается с помощью специального привода. Время одного оборота вала равно длительности рабочего цикла автомата.

При управлении от кулачкового вала траектория взаимного перемещения объекта обработки 5 и обрабатывающего

инструмента 4 определяется торцевым 2 и радиальным 3 кулачками, закрепленными на вращающемся валу 1. Рычаг 6 передает движение торцевого кулачка 2 объекту обработки 5. Профили обоих кулачков должны быть согласованы. Величина и скорость перемещений определяется профилем кулачков. При изменении траектории взаимного движения кулачки приходится заменять.

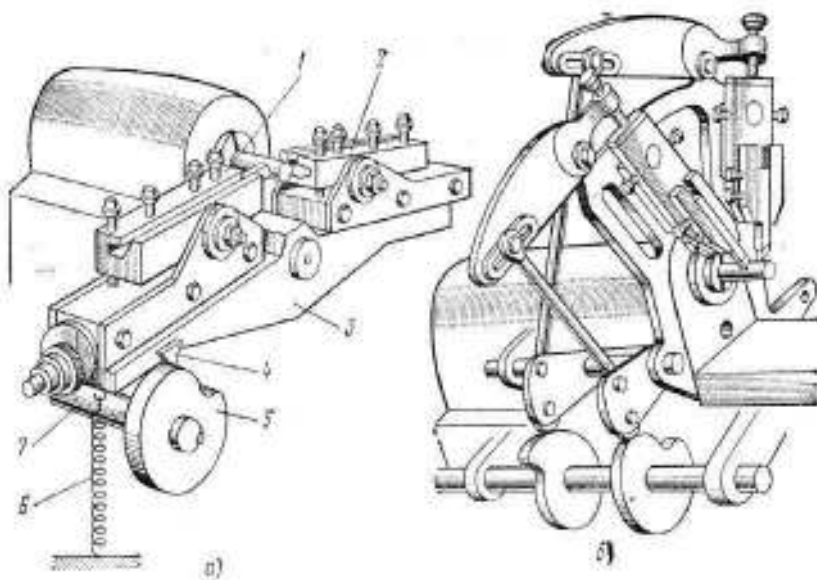


Рис. 7. Кулачковое управление суппортами

Пример использования кулачкового управления в токарном кулачковом автомате для фасонного точения деталей приведен на рис 7. На этом рисунке приняты следующие обозначения: а) — система с поступательным движением толкателей; 1 — передний суппорт;

2 – задний суппорт; 3 – балансир; 4 – упор; 5 – кулачок; 6 – пружина; 7 – распределительный вал; б) – система с качательным движением толкателей.

Кулачки распределительного вала вращаются одновременно и обеспечивают строгую синхронность перемещения рабочих органов станка. Профиль кулачков состоит из цилиндрических и наклонных участков. При взаимодействии с цилиндрическим участком балансир 3 не

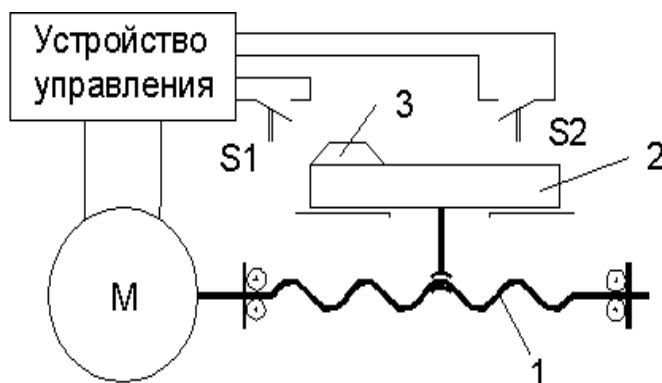


Рис. 8. Цикловое путевое управление

поворачивается относительно оси и поэтому рабочий орган не изменяет своего положения. На наклонных участках кулачка балансир 3 поворачивается относительно оси и передает движение рабочему органу. Профиль кулачков соответствует требуемой программе движения исполнительных органов.

Для кулачков следует выбирать такую форму и размеры отдельных участков профиля, чтобы обеспечить оптимальную скорость и ускорение рабочего органа, а также минимальное время на выполнение холостых ходов.

В случае циклового управления (рис. 8) устройство управления получает информацию о положении объекта управления 2 от конечных или

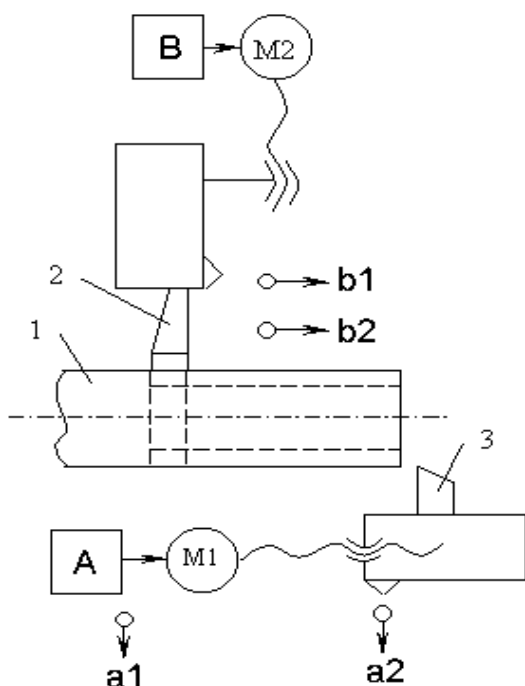


Рис. 9. Путевое управление обточкой

путевых выключателей S1 и S2. Включая или реверсируя электродвигатель М привода, устройство управления обеспечивает требуемое позиционирование объекта 2 с помощью ходового винта 1. Упор 3 взаимодействует с конечными выключателями.

Величина перемещений определяется установкой конечных выключателей или упоров. При перестройке подобной системы приходится изменять положение конечных выключателей и перестраивать цикл устройства управления.

Пример токарного автомата с цикловым управлением показан на рис. 9. Автомат изготавливает гладкий валик. Обрабатываемая

заготовка последовательно обрабатывается проходным резцом 3 и отрезается отрезным резцом 2. Привод суппортов осуществляется от электродвигателей М1 и М2 с устройствами управления А и В. Конечные положения суппортов контролируются конечными выключателями а1, а2, в1, в2.

Для автоматической обработки необходимо обеспечить следующий цикл работы устройств рассматриваемого токарного автомата:

1. Пуск. Начало цикла.

2. Обточка детали. Срабатывает устройство управления, и двигатель М1 перемещает продольный суппорт из положения 1 (нажат выключатель а1) в положение 2 (нажат выключатель а2).

3. Отрезка детали. Срабатывает устройство управления В, и мотор М2 перемещает отрезной суппорт из положения 1 (нажат выключатель в1) в положение 2 (нажат выключатель в2).

4. Возврат продольного суппорта в исходное положение. Устройство управления А включает мотор М1 в реверсном направлении. В конце хода выключатель а1 нажат, а выключатель а2 отпущен.

5. Возврат отрезного суппорта в исходное положение. Устройство управления В включает мотор М2 в реверсном направлении. В конце хода выключатель в1 нажат, а выключатель в2 отпущен.

6. Стоп. Окончание рабочего цикла.

Система управления автоматом должна контролировать состояние конечных выключателей (датчиков положения рабочих органов автомата) и выдавать управляющие сигналы на электродвигатели приводов. Управляющие сигналы формируются на основе проверки выполнения логических условий перехода к очередному такту рабочего цикла автомата.

Цикловое управление получило широкое распространение в технике автоматизации массового производства и используется для управления разнообразным оборудованием.

Принципиальная схема циклового манипулятора с пневматическим приводом показана на рис. 10. Пневмоцилиндр ЦП обеспечивает вертикальное перемещение руки манипулятора. Подача воздуха в пневмоцилиндр обеспечивается двухпозиционным распределителем ЗП с электромагнитным управлением. Горизонтальное движение руки имеет привод от пневмоцилиндра ЦР, управляемого двухпозиционным распределителем ЗР с электромагнитным управлением. Конечные выключатели S1, S2, S3, S4 являются датчиками сигналов обратной связи. Конечные положения перемещающихся органов определяются упорами, не показанными на схеме.

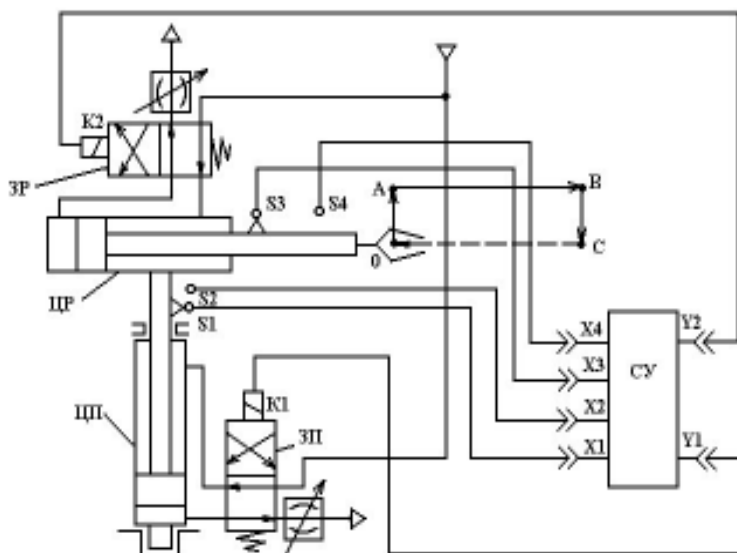


Рис. 10. Манипулятор с цикловым управлением

Таким образом, состояние привода в каждый момент времени определяется комбинацией сигналов, поступавших от конечных выключателей S1, S2, S3, S4 и включением или выключением управлявших

электромагнитов K1 и K2 распределителей. Состояние конечных выключателей S1, S2, S3, S4 с помощью схемы включения преобразуется в потенциальные сигналы X1, X2, X3, X4. Эти сигналы подаются на вход системы управления СУ. В зависимости от значения входных сигналов X и требуемой последовательности перемещений система управления СУ вырабатывает сигналы управления Y1 и Y2 распределителями K1 и K2. Необходимая последовательность сигналов управления определит рабочий цикл.

Технологические автоматы, построенные с использованием изложенных принципов, могут иметь различное назначение. Так, в самых разных отраслях промышленности получили распространение фасовочно-упаковочные автоматы.

Принципиальная схема упаковочного автомата, используемого в шинной и резинотехнической промышленности, показана на рис.11.

Поступающая в автомат полиэтиленовая плёнка оборачивается вокруг трубчатого шаблона (рукавообразователя), находящегося в формирующем элементе 2, и сваривается нагревательным элементом продольного шва 3. В результате получается цилиндрическая полиэтиленовая трубка. Порошковый ингредиент с весового дозатора поступает в упаковочный автомат через загрузочную воронку 1 и направляющую трубу. Он засыпается в сформированную полиэтиленовую трубку.

Нагревательный стыковочный элемент 4 заваривает нижний поперечный шов пакета. Одновременно ножом 7 отрезается готовый мешок с порошком. Верхний стык мешка заваривается нагревательным стыковочным элементом 5. Этот стык отрезает одновременно дно следующего мешка.

Продольная сварка осуществляется бесконтактным способом струей нагретого сжатого воздуха. В механизме продольной сварки 3 предусмотрена возможность регулирования зазора между сварочной

головкой и пленкой. Поперечная сварка осуществляется сваривающей головкой, на которой смонтированы три нагревательных элемента 4 и 5, покрытых лакотканью. Для охлаждения нагревательных элементов по каналам сварочной головки циркулирует вода. Охлаждаются также нагретые швы.

Протяжка плёнки производится двумя обрезиненными роликами, получающими вращение от электродвигателя. Для прерывания процесса протяжки плёнки во время осуществления сварки предусмотрены две электромагнитные муфты. Для приёма материала от весов предусмотрена загрузочная воронка 1, выполненная из листовой резины и расположенная внутри металлической решётки, которая, в свою очередь, приводится в движение для предотвращения зависания материала.

В конструкции автомата имеются также счетчик мешков 6, управляющие кулачковые валы 8, вибратор 9, компенсатор натяжения пленки 10, тормоз рулона 11, рулон пленки 12, датчик диаметра рулона 13, тормоз заправки 14.

В автомате имеется уплотнение, представляющее собой резиновую

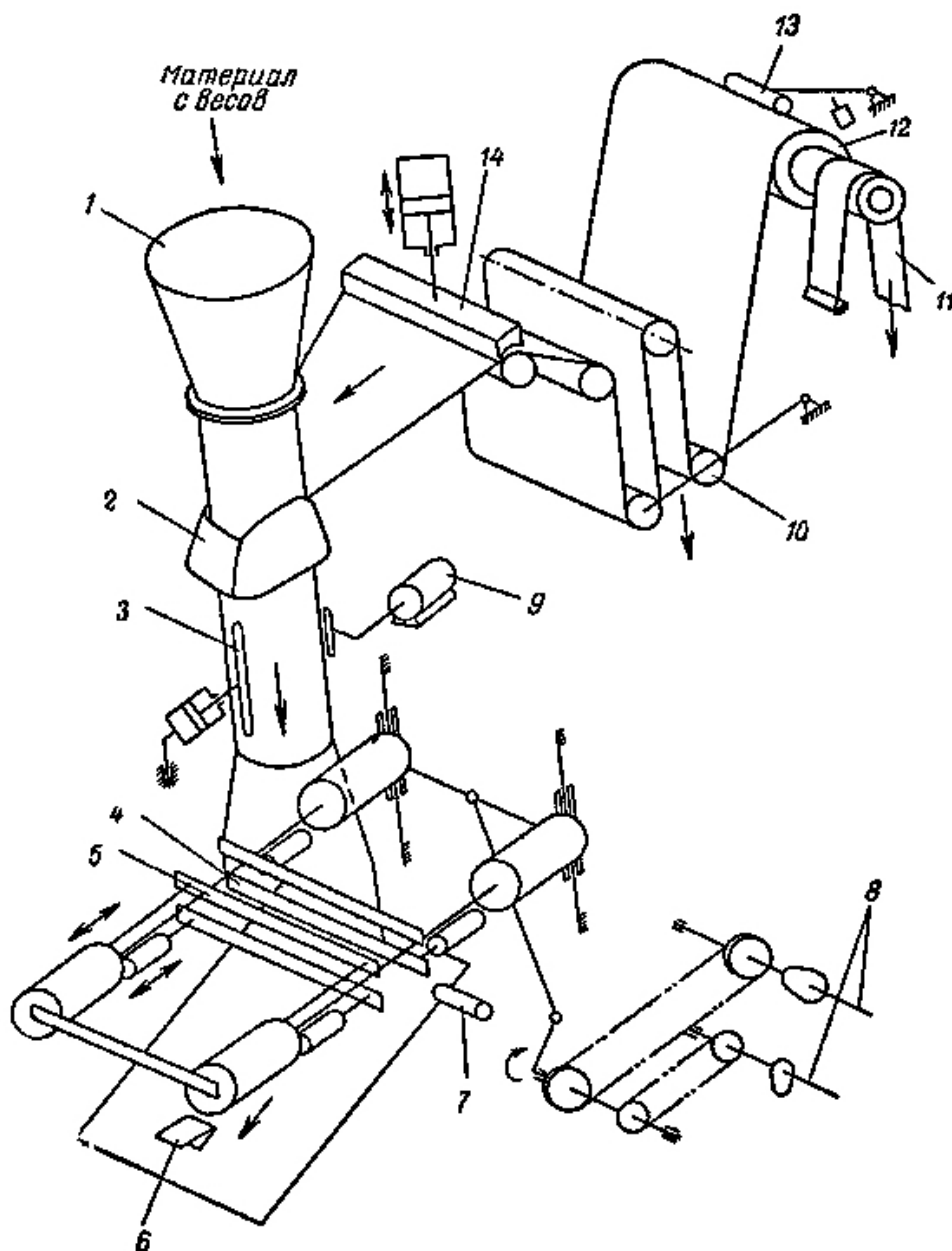


Рис. 11. Упаковочный автомат

камеру, в которую во время загрузки материала в пакет подаётся воздух, в результате чего плёнка обжимается вокруг трубы, предотвращая пыление из зоны загрузки, что улучшает качество швов. В целом конструкция автомата исключает контакт с вредными пылящими материалами, позволяет получить высокое качество шва.

Автомат успешно применяется в промышленности для упаковки ингредиентов резиновых смесей и может быть использован для упаковки других сыпучих и порошковых материалов: химикатов, моющих средств, цемента, гипса, различных пищевых продуктов (мука, сахар, соль и др.).

Рассмотренные выше автоматы обеспечивают циклическое повторение определенного программой набора операций. Такие автоматы характерны для дискретного производства, результатом которого являются отдельные изделия. Наряду с дискретным производством существует и непрерывное производство, типичным примером которого может служить нефтехимическое и химическое производство.

Целый ряд продуктов такого производства выпускается в массовых количествах (крупнотоннажное производство) с использованием непрерывных технологических процессов. При их автоматизации основной задачей является непрерывное обеспечение требуемых параметров технологического процесса, обеспечивающих необходимую производительность и качество при выпуске продукции. Технологическими автоматами в непрерывном производстве являются технологические аппараты и установки, реализующие операции технологического процесса в автоматическом режиме.

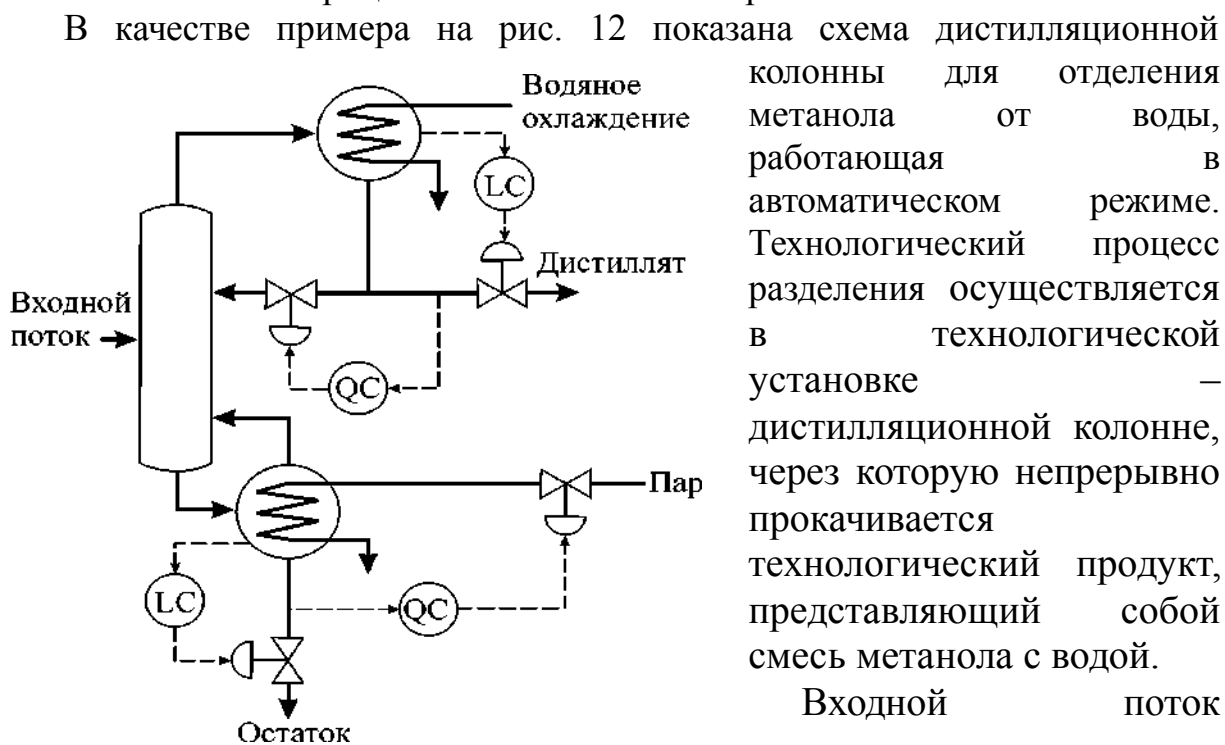


Рис. 12. Дистилляционная колонна

Входной поток создается насосами, которые на схеме не показаны. Колонна

взаимодействует с двумя теплообменниками, в которые поступают вода, охлаждающая дистиллят, и пар для подогрева остатка. Для штатного протекания технологического процесса разделения компонентов необходимо поддерживать требуемые значения уровня

жидкости в теплообменниках и концентрацию для дистиллята и остатка.

Автоматизация процесса осуществляется за счет применения автоматических регуляторов уровня LC и концентрации QC, которые обеспечивают требуемые параметры технологического процесса при изменении условий его протекания (изменение свойств исходного потока, изменение температуры и другие возмущающие воздействия). Наличие автоматического регулирования технологических параметров процесса обеспечивает его оптимальное протекание при необходимой производительности и качестве продукта. Для непрерывных процессов характерной чертой их автоматизации является необходимость автоматизации управления процессом.

Отдельные технологические автоматы позволяют автоматизировать одну или ограниченное число основных технологических операций. Вспомогательные технологические операции требуют самостоятельных средств автоматизации. При автоматизации технологических процессов в первую очередь в автоматизации нуждаются операции складирования и накопления, операции транспорта и загрузки-разгрузки автоматического оборудования.

При проектировании технологического автомата исходят, прежде всего, из необходимости обеспечить его требуемую производительность. Производительность автомата определяется следующим образом

$$P_a = \frac{1}{T_o + T_{\dot{a}} + T_{\dot{i}\dot{o}}} = \frac{1}{T_o} \cdot \frac{T_o}{T_o + T_{\dot{a}} + T_{\dot{i}\dot{o}}} = \eta \cdot P_o,$$

где T_o – основное время обработки изделия,

T_v – вспомогательное время рабочего цикла автомата (время загрузки-разгрузки и других вспомогательных операций),

T_{op} – суммарные затраты времени, вызванные организационно-техническими причинами и отнесенные на один рабочий цикл автомата (приведенные потери времени),

P_0 – производительность абсолютного автомата,

η – коэффициент использования автомата по времени.

Для повышения производительности необходимо сокращать

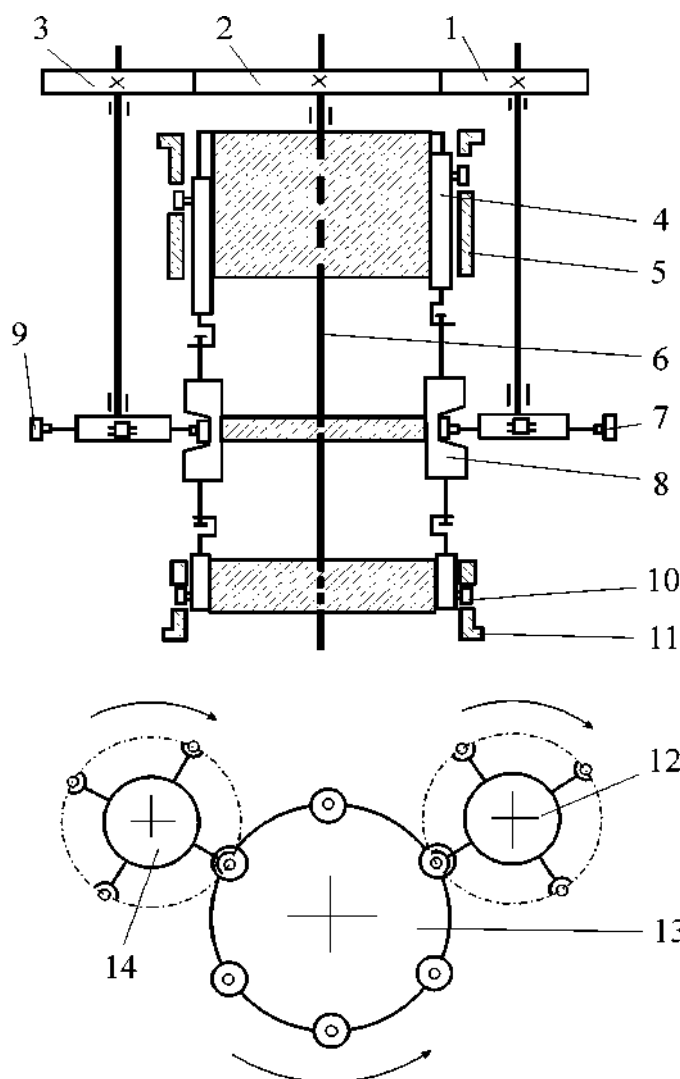


Рис. 13. Роторный автомат

составляющие времени рабочего цикла автомата. Другим путем повышения производительности технологического автомата является совмещение во времени отдельных технологических операций (основных и вспомогательных). Наиболее эффективно совмещение во времени основных операций технологического процесса с операциями транспортировки. Реализация этого принципа осуществляется в роторных автоматах.

Схема роторного автомата приведена на рис. 13. В составе автомата можно выделить следующие элементы: 1, 2, 3 – зубчатые колеса привода; 4, 10 – ползуны перемещения инстру-

ментальных блоков; 5, 11 – неподвижные копиры, 6 – центральный вал; 7, 9 – несущий орган транспортного ротора; 8 – инструментальный блок; 12, 14 – транспортные роторы, 13 – рабочий ротор.

Роторы автомата непрерывно вращаются за счет привода. При этом транспортный ротор 14 осуществляет подачу заготовки на рабочий ротор 13, где она закрепляется на рабочей позиции. При вращении рабочего ротора инструмент в блоках 8 подводится к заготовке

копирами 5 и 11 и происходит обработка заготовки. При этом движения подачи осуществляются за счет подбора необходимого профиля копиров. Обработанная заготовка снимается транспортным ротором 12 и удаляется из автомата.

Обработка на роторном автомате идет при непрерывном движении заготовки и инструментов. Все движения обеспечиваются вращением рабочего ротора и взаимодействием закрепленных на нем ползунов, имеющих направляющие для линейных перемещений, с профильными копиями (использовано кулачковое управление рабочими движениями автомата).

Роторный автомат целиком ориентирован на реализацию конкретного технологического процесса (для конкретного изделия) и является жестким специальным средством автоматизации. Основное достоинство роторного автомата – возможность получения высокой производительности. Увеличение производительности роторного автомата возможно за счет увеличения числа рабочих позиций рабочего ротора.

2.2 Автоматические линии

2.2.1 Назначение и принципы построения

Отдельные технологические автоматы позволяют автоматизировать одну или ограниченное число основных технологических операций. Вспомогательные технологические операции требуют дополнительных средств автоматизации. В первую очередь в автоматизации нуждаются операции загрузки-разгрузки автоматического оборудования и операции транспортирования заготовок и полуфабрикатов между рабочими позициями.

Для комплексной автоматизации технологического процесса необходимо совместное использование технологических автоматов, автоматических средств их загрузки-разгрузки, автоматических

транспортных средств и обеспечивающих автоматических систем. В этом случае мы приходим к автоматической технологической линии.

Автоматическая линия – это совокупность технологических автоматов с автоматическими системами транспортирования, управления и удаления отходов, предназначенная для комплексной автоматизации технологического процесса изготовления продукции. Обобщенная схема автоматической линии показана на рис. 14, где ТА – технологические автоматы.

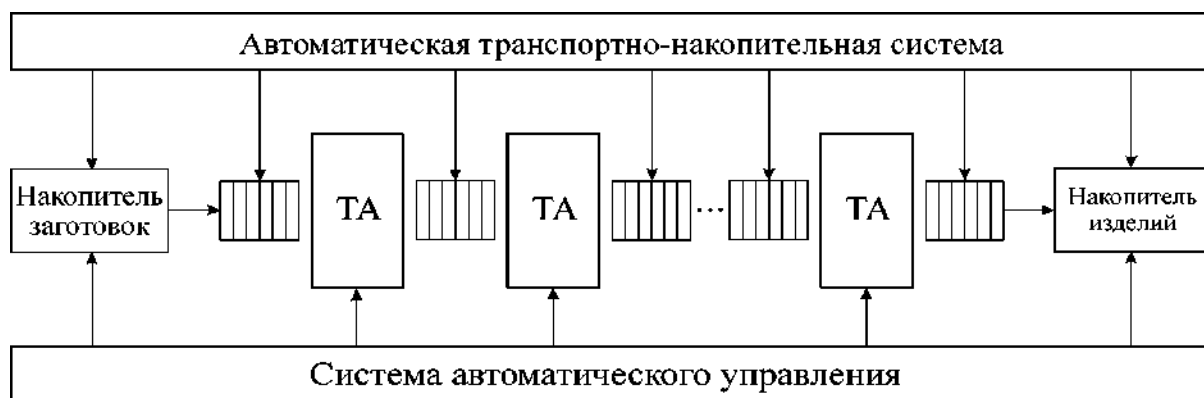


Рис. 14. Схема автоматической линии

Исходные заготовки для изготовления изделий находятся в накопителе заготовок. С помощью транспортной системы эти заготовки поштучно подаются на первый технологический автомат ТА. После выполнения первой технологической операции на этом автомате полуфабрикат транспортной системой передается на последующие автоматы для выполнения остальных технологических операций. Готовое изделие поступает в накопитель изделий.

В автоматической транспортной системе могут предусматриваться промежуточные накопители полуфабрикатов, что позволяет технологическим автоматам работать асинхронно. Для задания и согласования рабочих циклов всех устройств автоматической линии служит система автоматического управления.

Работа всех технологических автоматов совмещена во времени, что обеспечивает высокую производительность автоматической линии.

Циклограмма автоматической линии приведена на рис. 15. В такте транспортирования обеспечивается перемещение заготовок и полуфабрикатов между всеми позициями автоматической линии, а в тактах загрузки-разгрузки производится загрузка-разгрузка рабочих позиций технологических автоматов. В такте обработки происходит выполнение предусмотренных технологическим процессом операций по обработке изделия.

Суммарная длительность тактов (учитывается неперекрывающееся время) составляет время цикла автоматической линии. Чем меньше это время, тем выше производительность автоматической линии. Время цикла автоматической линии определяет длительность такта



Рис. 15. Циклограмма автоматической линии

выпуска готового изделия.

При проектировании автоматической линии технологический процесс изготовления изделия разбивается на элементарные операции небольшой длительности. Длительность элементарной операции определяется исходя из требуемой производительности автоматической линии. Все элементарные операции на автоматической линии выполняются одновременно (принцип совмещения операций во времени), чем достигается высокая производительность.

Операции выполняются на технологических автоматах, которые образуют рабочие позиции автоматической линии. Период выполнения рабочих операций составляет рабочий такт технологического автомата или автоматической линии в целом (в зависимости от контекста).

Для передачи объектов обработки между рабочими позициями (что необходимо для выполнения всего комплекса операций над объектом) используются средства автоматического транспорта. Период перемещения объектов между рабочими позициями с помощью транспорта образует транспортный такт.

Рабочий и транспортный такты могут либо чередоваться, либо совмещаться во времени. В последнем случае необходимо особое принципиальное решение построения автоматической линии (роторные автоматические линии). Пример автоматической линии для механической обработки валов показан на рис. 16.

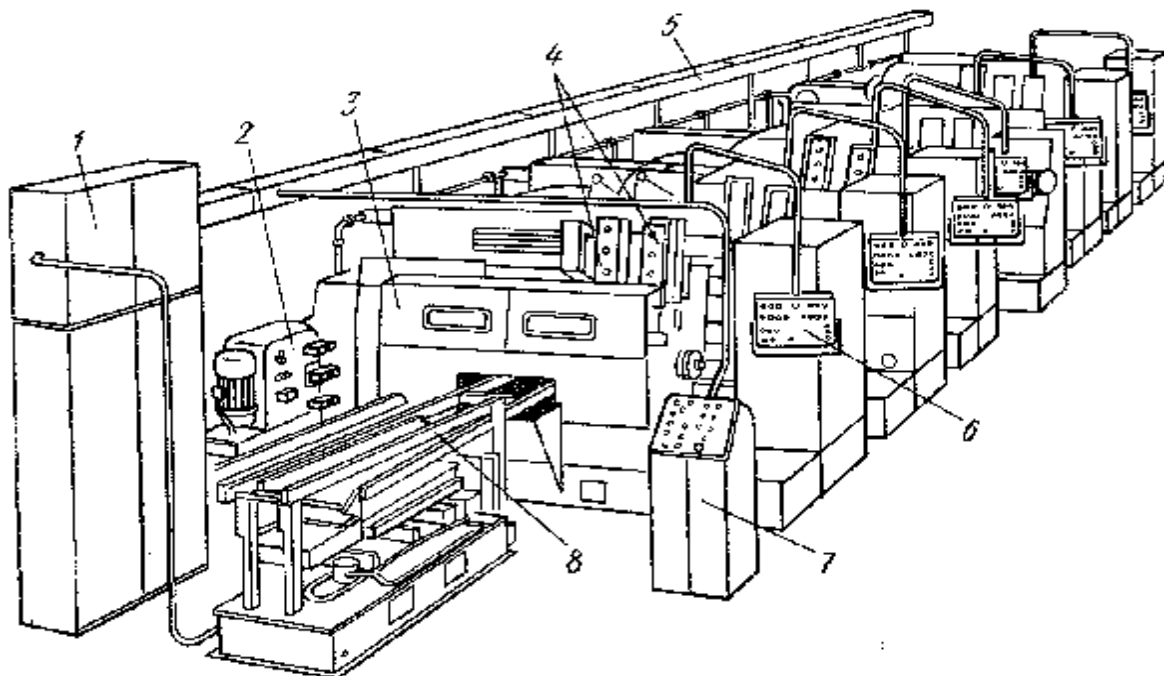


Рис. 16. Автоматическая линия для изготовления валов

Автоматическая линия состоит из гидрокопировальных токарных автоматов 3 и специального станка-автомата. Токарные автоматы имеют по два копировальных суппорта 4. Все станки объединены сквозным штанговым транспортером 8 для межоперационного транспорта заготовок и деталей. Цикловая автоматика линии размещается в монтажном шкафу 1. Для наладки и ручного управления у оборудования имеются локальные пульта управления 6.

Центральный пульт управления 7 автоматической линией позволяет наладчику контролировать состояние автоматической линии и переключать режимы ее работы. Для питания гидравлических элементов автоматики предназначена гидростанция 2. Соединительный короб 5 используется для прокладки коммуникаций между оборудованием. Стружка убирается шнековым стружкоуборочным транспортером, расположенным вдоль линии, под станками.

Автоматическая линия предназначена для обработки определенной детали. Если конфигурация детали изменяется (даже незначительно), то требуется перестройка всех автоматов линии, перестройка транспортной системы и перестройка датчиков цикловой системы управления. При перестройке часто возникает необходимость замены отдельных устройств и узлов. Все это приводит к существенному возрастанию затрат (как временных, так и материальных) на перестройку автоматической линии, что, в большинстве случаев, делает такую перестройку экономически нецелесообразной.

2.2.2 Классификация автоматических линий

Важнейшие характеристики автоматических линий — технологическое назначение, характер встроенного технологического оборудования (одно- или многопозиционное; последовательного, параллельного или смешанного действия) и вид межагрегатной связи.

При жесткой межагрегатной связи технологическое оборудование с помощью транспортных средств (транспортеры,

автоматические манипуляторы) связано воедино и работает в едином ритме, отказ любого конструктивного элемента может привести к отказу и простою всей линии. Для повышения производительности и надежности линий при неизменных техпроцессах и конструкциях технологического оборудования широко применяется структурное усложнение линий — деление их на участки-секции с установкой межоперационных накопителей.

При гибкой межагрегатной связи между каждой парой машин или агрегатов, встроенных в автоматическую линию, имеется автоматический накопитель заделов. Существуют и промежуточные структурные варианты линии, когда число накопителей меньше числа машин или агрегатов: линии, разделенные на участки-секции, в каждой из которых сблокировано несколько машин или агрегатов. Варианты построения АЛ определяются и другими признаками.

Автоматические линии весьма разнообразны, поскольку каждая из них предназначена для конкретного изделия и конкретного технологического процесса. Каждая автоматическая линия в большей или меньшей степени индивидуальна. Тем не менее, существуют некоторые общие принципы проектирования автоматических линий. С учетом общих принципов построения разработана следующая классификация автоматических линий.

1. По связи между оборудованием автоматической линии:

- синхронные автоматические линии с единым тактом работы всех единиц технологического оборудования и жесткими транспортными связями между оборудованием;

- асинхронные автоматические линии с различающимися длительностями тактов отдельных единиц оборудования и промежуточными накопителями в транспортных связях между оборудованием.

2. По способу передачи объектов производства между рабочими позициями:

- прямоточные автоматические линии с непосредственной передачей объекта производства с одной рабочей позиции после завершения обработки на ней на другую;

- поточные автоматические линии с организацией очереди объектов обработки перед следующей рабочей позицией;

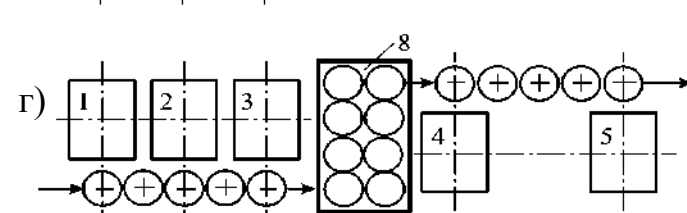
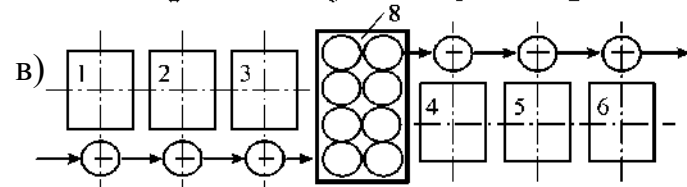
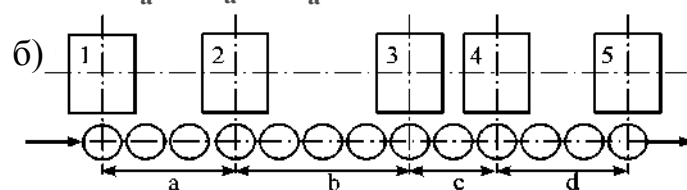
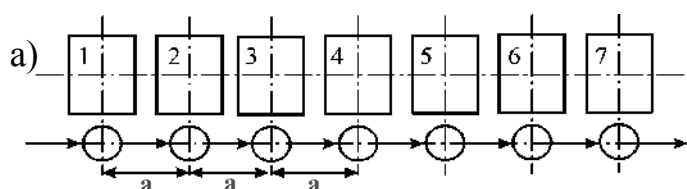


Рис. 17. Связь между рабочими позициями автоматической линии

- бункерные автоматические линии с наличием промежуточных бункерных накопителей.

Способы связи между рабочими позициями автоматической линии показаны на рис. 17: 1–7 – оборудование рабочих позиций автоматической линии, 8 – промежуточные автоматические бункеры для накопления полуфабрикатов.

В прямоточных автоматических линиях объект производства необходимо в такте перемещения перемещать на расстояние, равное расстоянию между рабочими позициями (рис. 17, а). В поточных автоматических линиях в такте перемещения объект производства перемещается только на величину шага между объектами, равному, как правило, длине объекта обработки (рис. 17, б). Между рабочими позициями создается поток из объектов производств, число которых будет равно результату деления расстояния между позициями (a, b, c, d) на длину шага между объектами производства. В поточной автоматической линии следующая рабочая позиция начинает работу с задержкой по отношению к предыдущей.

Бункерные автоматические линии характеризуются наличием промежуточных бункеров для накопления необходимых при автоматической работе запасов заготовок и полуфабрикатов перед рабочими позициями (рис. 17, в и г). При этом бункер может устанавливаться либо на каждую рабочую позицию, либо на группу рабочих позиций.

Бункерно-прямоточные автоматические линии разбиваются на отдельные участки, каждый из которых имеет собственный бункерный накопитель, что обеспечивает возможность автономной работы участка при наличии заготовок в бункере (рис. 17, в).

Бункерно-поточная автоматическая линия (рис. 17, г) имеет поточную организацию движения объектов производства между рабочими позициями на отдельных участках. В этом случае время обработки на каждой позиции индивидуально.

Наряду с бункерами для связи между участками автоматической линии могут использоваться промежуточные накопители, выполняющие также дополнительные функции. К такому решению прибегают в случае сложной компоновки автоматической линии.

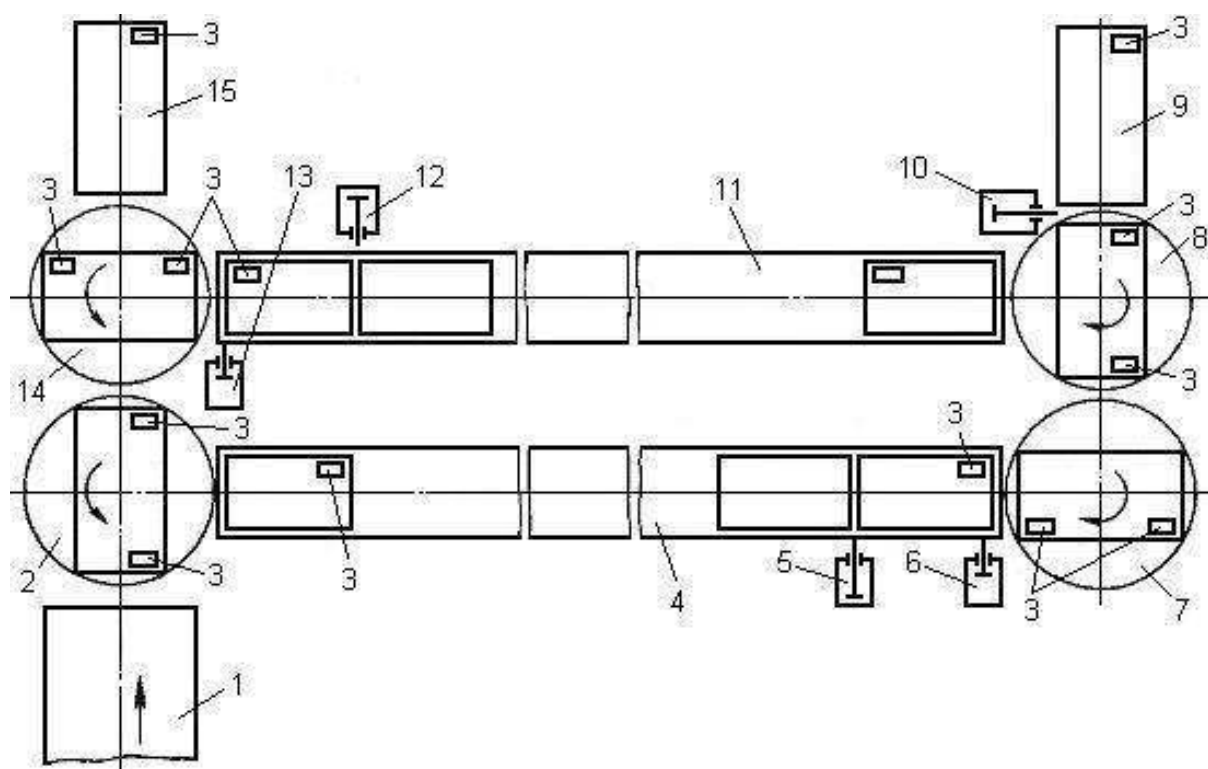


Рис. 18. Промежуточный накопитель

В качестве примера на рис. 18 показана схема промежуточного накопителя, построенного на базе приводных роликовых конвейеров. Обрабатываемые детали (блоки цилиндров) поступают из предыдущего участка АЛ 1 и должны подаваться на две параллельно работающие АЛ 9 и 15. Приводные ролики расположены как на продольных участках 4 и 11 конвейера накопителя, так и на поворотных столах 2, 7, 8 и 14. Необходимость поворотных столов вызвана тем, что конструкция объекта обработки допускает его транспортирование только в продольном направлении. Детали из АЛ 1 поступают на поворотный стол 2 и перемещаются роликами до упора. Затем стол 2 поворачивается по стрелке на 90° , вращение приводных роликов реверсируется, и деталь выдается на продольный участок 4 накопителя. Поворотный стол 2 возвращается в исходное положение для приема очередной детали из АЛ 1.

По участку 4 деталь перемещается до упора в отсекаль 6. При отсутствии детали на столе 7 выдвигается отсекаль 5, а отсекаль 6

убирается, и деталь поступает на поворотный стол 7. Отсекатели 5 и 6 срабатывают в обратном порядке, в результате чего участок 4 подготавливается к выдаче очередной детали,

Деталь, поступившая на стол 7, поворачивается вместе с ним и благодаря реверсированию направления вращения роликов передается на поворотный стол 8, по которому перемещается до установленного на поворотной части стола отсекаателя 10. С поворотного стола 8 деталь может быть подана на первую позицию АЛ 9 (при отсутствии детали на этой позиции) или на продольный участок (при наличии детали в начале АЛ 9 и отсутствии детали на смежной со столом 8 позиции участка 11). В первом случае убирается отсекаатель 10, во втором случае отсекаатель 10 остается выдвинутым; а поворотный стол 7 поворачивается на 90° ; после поворота осуществляется реверсирование роликов. В конце продольного участка 11 накопителя расположены отсекаатели 12 и 13, которые работают так же, как отсекаатели 5 и 6, обеспечивая поштучную выдачу детали на поворотный стол 14. При отсутствии детали на первой позиции АЛ 15 стол 14 поворачивается на 90° , реверсируется направление вращения роликов на столе, и деталь подается на АЛ 15.

Положение поворотных столов и отсекаателей контролируется с помощью конечных выключателей (на рисунке не показаны), один из которых срабатывает в первой позиции подвижного элемента, а другой – во второй позиции. Для контроля наличия детали на некоторых позициях установлены конечные выключатели 3; на поворотных столах расположены по два таких выключателя, что обеспечивает автоматическое управление столами.

Представленная компоновка накопителя обеспечивает гибкое распределение одного потока деталей на два и при минимуме занятой производственной площади существенно снижает наложенные простои на смежных АЛ благодаря возможности создания довольно большого задела деталей.

3. По связи между рабочими и транспортными операциями автоматические линии делятся на:

- стационарные с неподвижными рабочими позициями и средствами транспорта между ними. В таких линиях рабочий такт чередуется с тактом транспортировки, следовательно, такт выпуска продукции будет зависеть от длительности обоих тактов;

- роторные, в которых рабочие позиции совершают транспортные движения и движутся в процессе обработки для переноса объекта обработки. Совмещение рабочих и транспортных движений позволяет повысить производительность автоматической линии.

4. По возможности перестройки, предусмотренной конструкцией автоматической линии и используемым оборудованием, линии делятся на:

- переналаживаемые автоматические линии, допускающие изменение технологического процесса путем переналадки оборудования;

- непереналаживаемые автоматические линии, рассчитанные на осуществление только определенного технологического процесса изготовления определенной продукции.

Кроме перечисленных основных признаков, классификация автоматических линий может осуществляться и по другим признакам, например, по виду технологических процессов, по особенностям планировки и транспортных потоков и др.

2.2.3 Производительность автоматической линии

Производительность автоматической линии определяется количеством изготавливаемых в единицу времени изделий. Технический предел производительности автоматической линии равен ее цикловой производительности, которая определяется следующим соотношением

$$Q_0 = \frac{p}{T_0} = \frac{p}{t_i + t_a},$$

где T_0 – время цикла автоматической линии, p – количество изделий, изготавливаемых за один цикл, t_i – длительность основных операций цикла, t_a – длительность вспомогательных операций цикла.

Основное время t_i определяется по лимитирующим позициям, т.е. по наиболее длительным операциям. Суммарное время основных и вспомогательных операций определяет рабочее время, затрачиваемое на изготовление одного изделия в условиях автоматической линии.

Однако автоматическая линия не может функционировать непрерывно. Она простаивает по разным причинам. Одной из причин простоев является необходимость обслуживания автоматической линии, ее настройки и наладки: смена и настройка инструмента, ремонт и наладка оборудования и устройств, поиск и устранение отказов, профилактические обслуживания и др.

Суммарное время $\sum \tau_n$, затрачиваемое на перечисленные выше операции, называется временем простоев по техническим причинам (по собственным причинам).

Кроме технических причин простоев существуют организационно-технические причины, не связанные непосредственно с технологией изготовления изделия: дефицит ресурсов, необходимых для работы автоматической линии; отсутствие рабочих и др. В этом случае автоматическая линия находится в работоспособном состоянии и простаивает по независящим от нее причинам. Суммарное время таких простоев $\sum \tau_{io}$ составляет время организационно-технических простоев.

В том случае, когда автоматическая линия допускает переналадку на выпуск других изделий, добавляются простои, обусловленные временем переналадки. В это время входят следующие составляющие: время смены инструмента, приспособлений и управляющих программ; время для переналадки кинематики механизмов и

устройств и т.д. Эти простои определяются суммарным временем $\sum \tau_i$.

Потери времени из-за простоев образуют внецикловые потери. Эти потери носят случайный характер и за разные периоды работы автоматической линии они различны. Внецикловые потери снижают производительность автоматической линии. Для оценки влияния внецикловых потерь на производительность автоматической линии их учитывают усредненно с помощью поправочных коэффициентов производительности.

$$Q = \frac{\eta_{\text{аэ}}}{T} = \frac{1}{T(1 + \sum \tau_i / T)}, \quad T = t_{\delta} + t_{\delta},$$

где T – рабочий цикл, $\sum \tau_i$ – суммарные внецикловые потери линии, $\eta_{\text{аэ}}$ – коэффициент использования автоматической линии, t_{δ} – время рабочих ходов, t_{δ} – время холостых ходов. Отдельные рабочие и холостые хода могут совмещаться.

Для повышения производительности автоматической линии необходимо уменьшать время рабочего цикла " T ". Для этого технологический процесс изготовления изделия расчленяется на простые короткие операции, которые выполняются параллельно. Естественно, что количество потребного технологического оборудования при этом возрастает, возрастают и затраты на автоматическую линию. Эти затраты должны окупаться ростом производительности труда и ростом объема выпуска продукции (естественно, при наличии спроса на нее).

Рост производительности труда при внедрении средств автоматизации, по сравнению с базовым неавтоматизированным процессом, оценивается коэффициентом роста производительности

$$\lambda = \phi \varepsilon \frac{k + N(m + 1)}{k \sigma \varepsilon + N(m \delta \phi \varepsilon + 1)},$$

$$\phi = \frac{Q_2}{Q_1}, \quad \varepsilon = \frac{T_{\text{аэ}1}}{T_{\text{аэ}2}}, \quad \sigma = \frac{T_{\text{и}2}}{T_{\text{и}1}}, \quad \phi \delta = \frac{T_{\text{в}2}}{T_{\text{в}1}}, \quad k = \frac{T_{\text{и}}}{T_{\text{аэ}}}, \quad m = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{аэ}}},$$

где φ – коэффициент роста производительности средств производства, определяемый соотношением производительности после автоматизации (Q_2) к производительности базового варианта (Q_1); ε – коэффициент сокращения живого труда; $T_{\text{ж}}$ – затраты живого труда обслуживающих рабочих; σ – коэффициент изменения стоимости средств производства, $T_{\text{т}}$ – единовременные затраты на средства труда; δ – коэффициент изменения стоимости средств производства; $T_{\text{в}}$ – годовые затраты на предметы труда (сырье, материалы, комплектующие и др.); k – коэффициент технической вооруженности живого труда, определяемый отношением единовременных затрат овеществленного труда $T_{\text{п}}$ на создание средств производства к годовым затратам живого труда $T_{\text{ж}}$, m – коэффициент энергоматериалоемкости живого труда, определяемый отношением годовых текущих затрат $T_{\text{в}}$ овеществленного труда на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы и ремонт к годовым затратам живого труда $T_{\text{ж}}$, N – срок службы.

Наиболее высокую производительность обеспечивают автоматические линии, в которых операции обработки совмещаются с операциями транспорта объекта обработки. Такие линии получили название роторных линий.

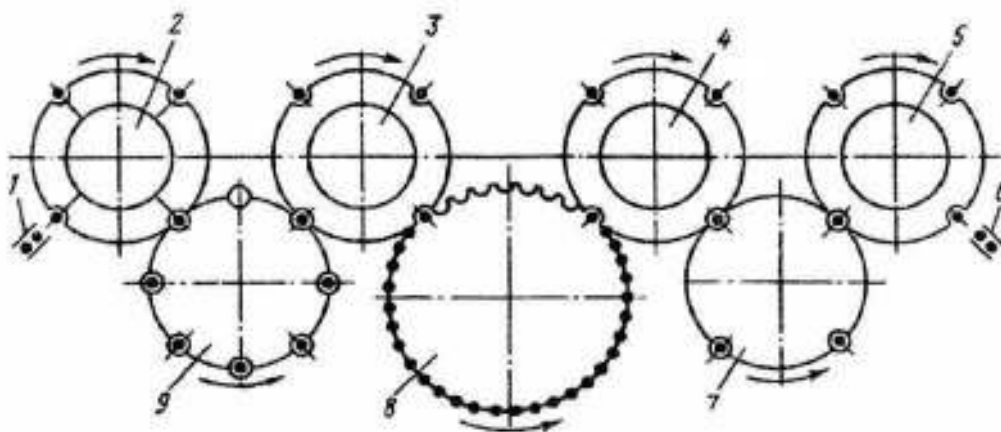


Рис. 19. Роторная автоматическая линия

На рис. 19 показана схема роторной автоматической линии: 1 – магазин-накопитель; 2, 3, 4, 5 – транспортные роторы; 6 – приемный магазин; 7, 8, 9 – рабочие роторы, имеющие разное число позиций для получения одинаковой производительности на всех операциях. На рабочих роторах имеются суппорты с обрабатывающим инструментом, которые движутся за счет копиров при вращении роторов.

Основные операции технологического процесса выполняются рабочими органами рабочих роторов. Транспортные роторы передают изделия от одного рабочего ротора к другому.

Пример компоновки роторной автоматической линии приведен на рис. 20. Заготовка 2 транспортным ротором 3 подается на первый рабочий ротор 1. Этот рабочий ротор имеет рабочие органы с обрабатывающим инструментом, которые движутся за счет копиров 4, вследствие взаимного перемещения, возникающего при вращении ротора. Следующий транспортный ротор передает изделие для окончательной обработки на рабочий ротор 5. Все роторы непрерывно вращаются вокруг своих осей от привода, расположенного под роторами.

Роторные автоматические линии практически полностью комплектуются из специального оборудования, в отличие от обычных автоматических линий, в которых может использоваться универсальное или специализированное технологическое

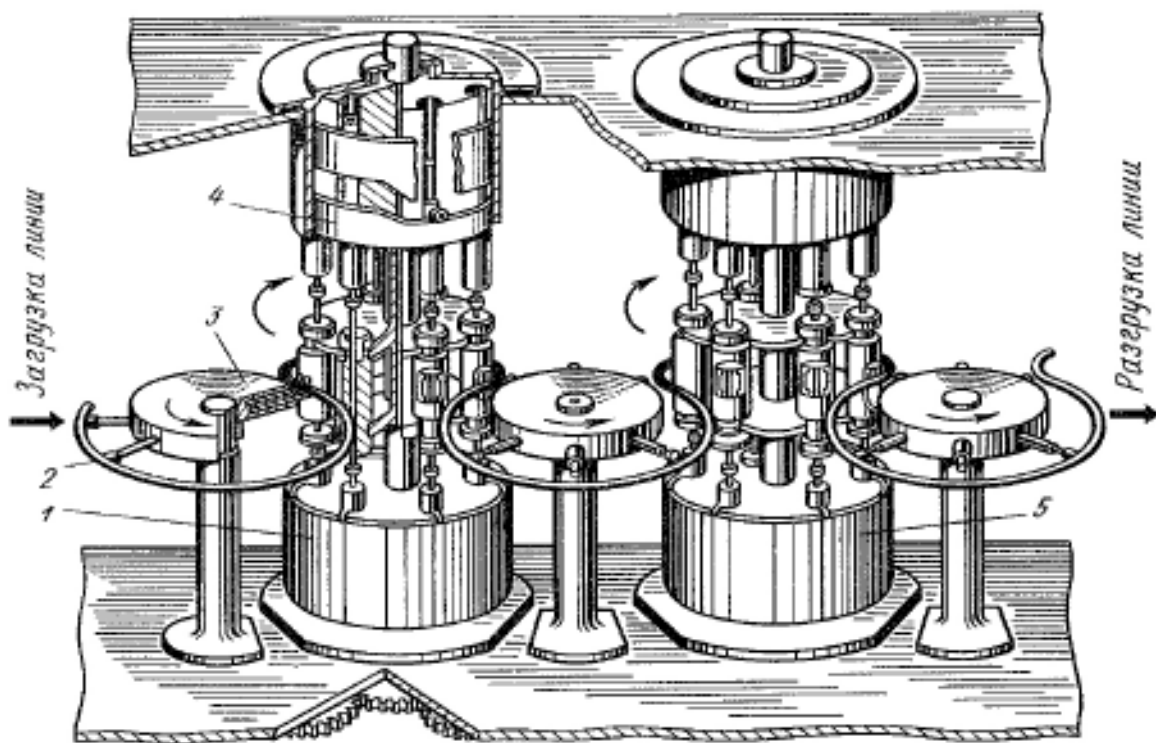


Рис. 20. Пример роторной автоматической линии

оборудование. Это приводит к росту затрат на индивидуальное проектирование и изготовление роторной автоматической линии, а также удорожает стоимость линии. Весьма высокая производительность линии позволяет окупить затраты на нее только в массовом производстве.

2.3 Автоматизация загрузки-разгрузки технологических автоматов

2.3.1 Автоматические загрузочные устройства

Для загрузки-разгрузки автоматического оборудования специального и специализированного назначения созданы и находят применение различные автоматические и автоматизированные

устройства. Все загрузочные устройства прежде всего можно разбить на два основных вида: автоматические и полуавтоматические. Автоматические загрузочные устройства обеспечивают автоматическую ориентацию объектов загрузки (заготовок), как в пространстве, так и во времени. Характерной особенностью автоматических загрузочных устройств является наличие бункера того или иного типа, поэтому такие устройства называют бункерными. В бункерных загрузочных устройствах часто имеется магазин, однако он в данном случае выполняет вспомогательную роль и может отсутствовать.

Полуавтоматические загрузочные устройства ориентируют объекты загрузки только во времени. Ориентация объектов загрузки в пространстве осуществляется вручную. Характерным элементом полуавтоматического загрузочного устройства является магазин, который последовательно загружается заготовками в ориентированном положении вручную. В связи с необходимостью предварительной ручной ориентации заготовок при загрузке их в магазин возрастает трудоемкость обслуживания автомата. Однако конструкция последнего существенно упрощается за счет исключения бункера и ориентирующего устройства.

Автоматические загрузочные устройства (бункерные) осуществляют первичную ориентацию детали, захватываемой из неорганизованной «кучи»; накопление некоторого запаса ориентированных в заданном положении деталей; поштучную выдачу деталей объекту загрузки. Для этой цели используются различные бункерные загрузочные устройства. Конструкции бункерных загрузочных устройств разнообразны и предназначены для деталей конкретных конфигураций, что обуславливает их специализацию.

Структурная схема загрузочного устройства представлена на рис. 21. Объекты загрузки (заготовки) в достаточном для бесперебойной работы автомата количестве помещают в бункер (обычно в беспорядке, «навалом»), который производит их первичную ориентацию и выдает в определенной последовательности. В зависимости от конфигурации объектов может потребоваться их

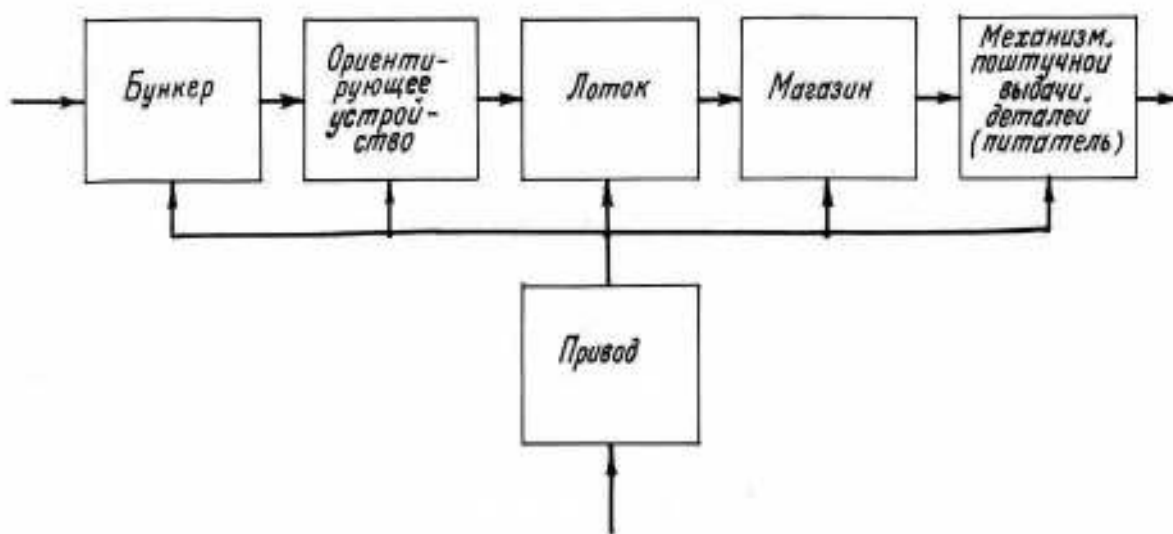


Рис. 21. Структура загрузочного устройства

дополнительная пространственная ориентация, что осуществляется ориентирующим устройством, которое может быть и частью бункера.

Ориентированные в пространстве заготовки по лотку попадают в магазин-накопитель, откуда через определенные промежутки времени выдаются механизмом поштучной выдачи на рабочую позицию автомата. Таким образом, механизм поштучной выдачи деталей является устройством, ориентирующим объекты загрузки во времени. Необходимые перемещения подвижных элементов загрузочного устройства осуществляются приводом.

Следует отметить, что названные элементы загрузочного устройства не всегда можно выделить в «чистом» виде при рассмотрении конкретного автомата. Некоторые элементы могут отсутствовать, либо один конструктивный элемент может выполнять

несколько функций. Так, часто лоток выполняет одновременно и функции магазина. Необходимость магазина в составе загрузочного устройства объясняется тем, что производительность бункера из-за его конструктивных особенностей колеблется во времени и для компенсации этого колебания приходится накапливать некоторый запас ориентированных объектов загрузки в магазине. Наиболее характерными элементами загрузочного устройства являются бункер (или магазин) и питатель.

На рис. 22 приведен пример дискового карманчикового автоматического бункера для ориентации заготовок в один прием. Неподвижный диск 1 является основанием, а подвижный диск 2

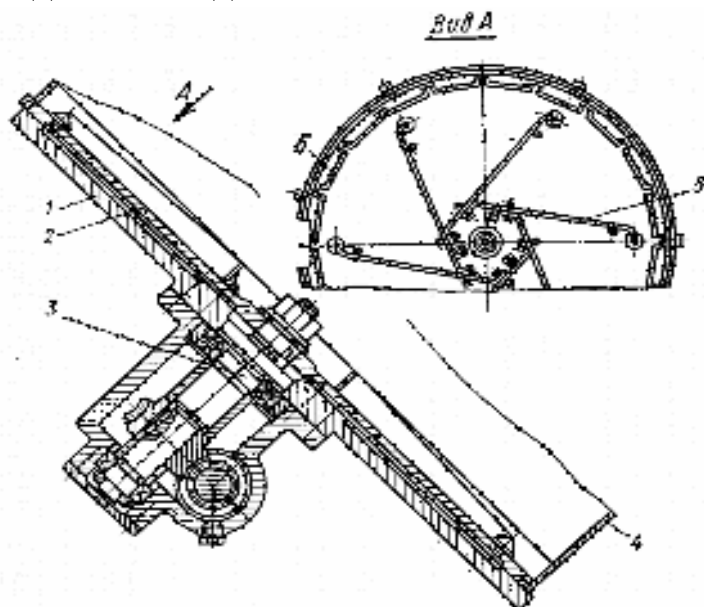


Рис. 22. Карманчиковый бункер

приводится во вращение валом 3 червячного редуктора.

По окружности диска 2 имеются карманы Б, в которые при вращении диска западают заготовки. Таким образом происходит ориентация заготовок.

Лопасты 5 улучшают заполнение карманов.

Емкость 4 позволяет поместить в бункер необходимый запас заготовок. В рабочем положение ось бункера наклонена на 45° . Попавшие в карманы заготовки выпадают в накопитель через приемное окно в неподвижном диске 1.

При изменении размеров загружаемой детали необходимо изменить размеры карманов захватного диска 2. Изменения

конфигурации допустимы только в небольших пределах. Многообразие конструкций бункерных загрузочных устройств связано именно с возможностью использования бункера только для деталей определенного типа.

Производительность бункерного загрузочного устройства

$$Q_{\text{з}} = zn\eta = \frac{v\eta}{m},$$

где z – число захватных органов бункера, n – частота вращения или число двойных ходов захватного органа в минуту, η – коэффициент вероятности захвата детали захватным органом, v – линейная (окружная) скорость движения захватного органа, m – линейный (окружной) шаг захватных органов.

Практическая производительность бункерных устройств лежит в пределах 60–1200 шт/мин, т.е. может достигать весьма больших значений. Такая производительность достигается за счет специализации загрузочного устройства.

Бункерные загрузочные устройства разделяют по признакам, характеризующим их принцип действия и конструктивные особенности. В этом отношении существенной оказывается степень ориентации загружаемого объекта в загрузочном устройстве (поскольку бункерные устройства производят ориентацию автоматически, то их степень конструктивной сложности связана с требованиями к ориентации деталей). В том случае, когда заготовка имеет простую симметричную форму (например, гладкие валики, ролики и т. п.) или когда заготовка на рабочей позиции ориентирована только относительно одной оси, достаточно бывает одинарной ориентации заготовки относительно выбранной оси в бункерном устройстве. Необходимость ориентации заготовки относительно нескольких осей приводит к усложнению бункерного загрузочного

устройства и к введению дополнительного ориентирующего механизма.

Существенные различия имеют бункерные устройства в зависимости и от применяемого способа захвата заготовок при их ориентации. Применяют два основных способа захвата: по наружной поверхности заготовки и по отверстию в заготовке.

Большое значение имеет разгрузка захватных органов, предупреждающая их поломку при заклинивании деталей или при переполнении отводящего лотка. Необходимо заметить, что для нормальной работы бункерного загрузочного устройства не безразлично количество заготовок в бункере. Это количество всегда должно лежать в определенных пределах, устанавливаемых практикой эксплуатации загрузочного устройства.

Различные типы бункерных загрузочных устройств наилучшие результаты дают при загрузке заготовок определенной формы. Это обстоятельство также приводит к большому разнообразию бункерных загрузочных устройств.

Классификация загрузочных устройств автоматов и полуавтоматов приведена на рис. 23.



Рис. 23. Классификация загрузочных устройств

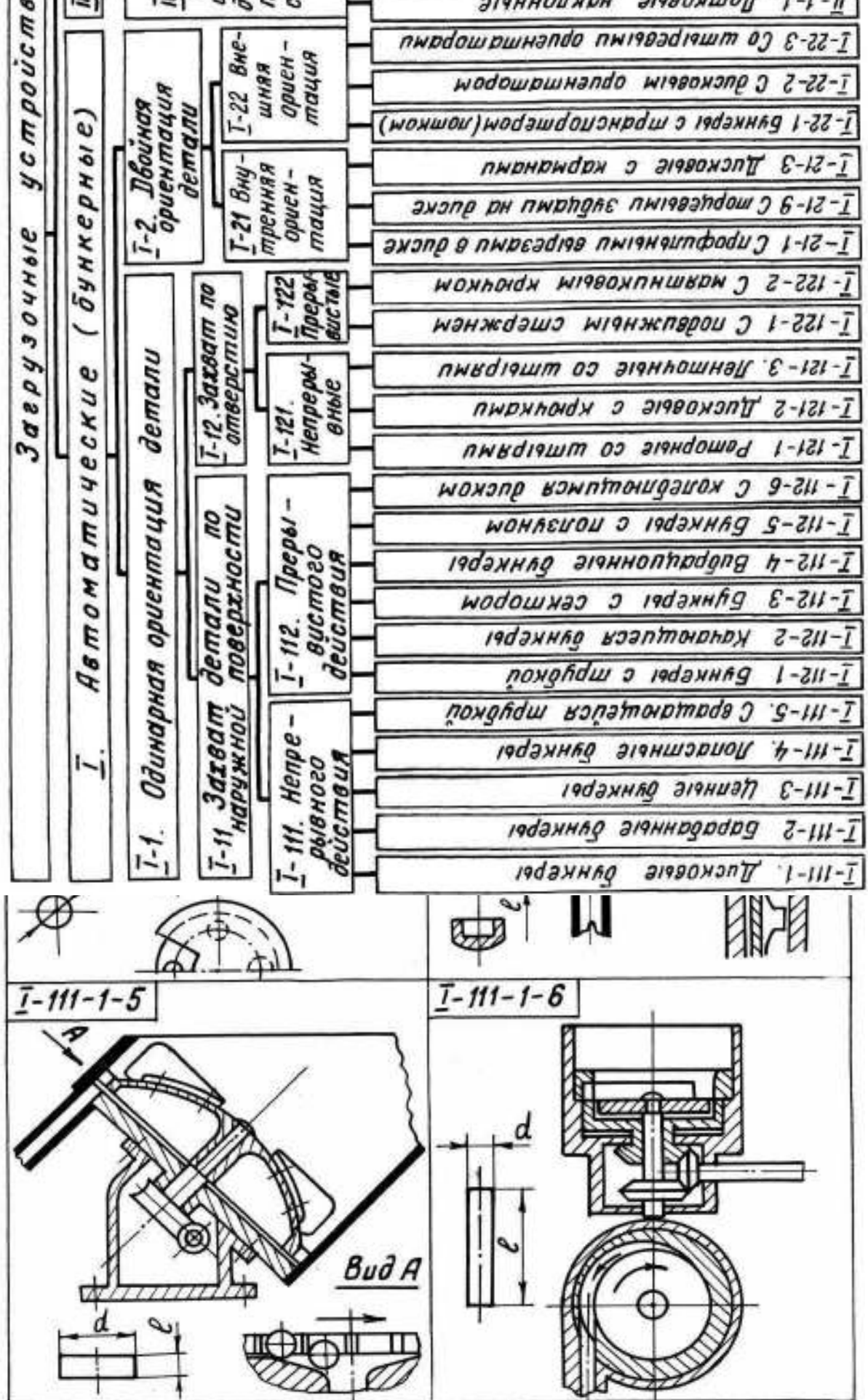


Рис. 24, а. Конструкции бункеров

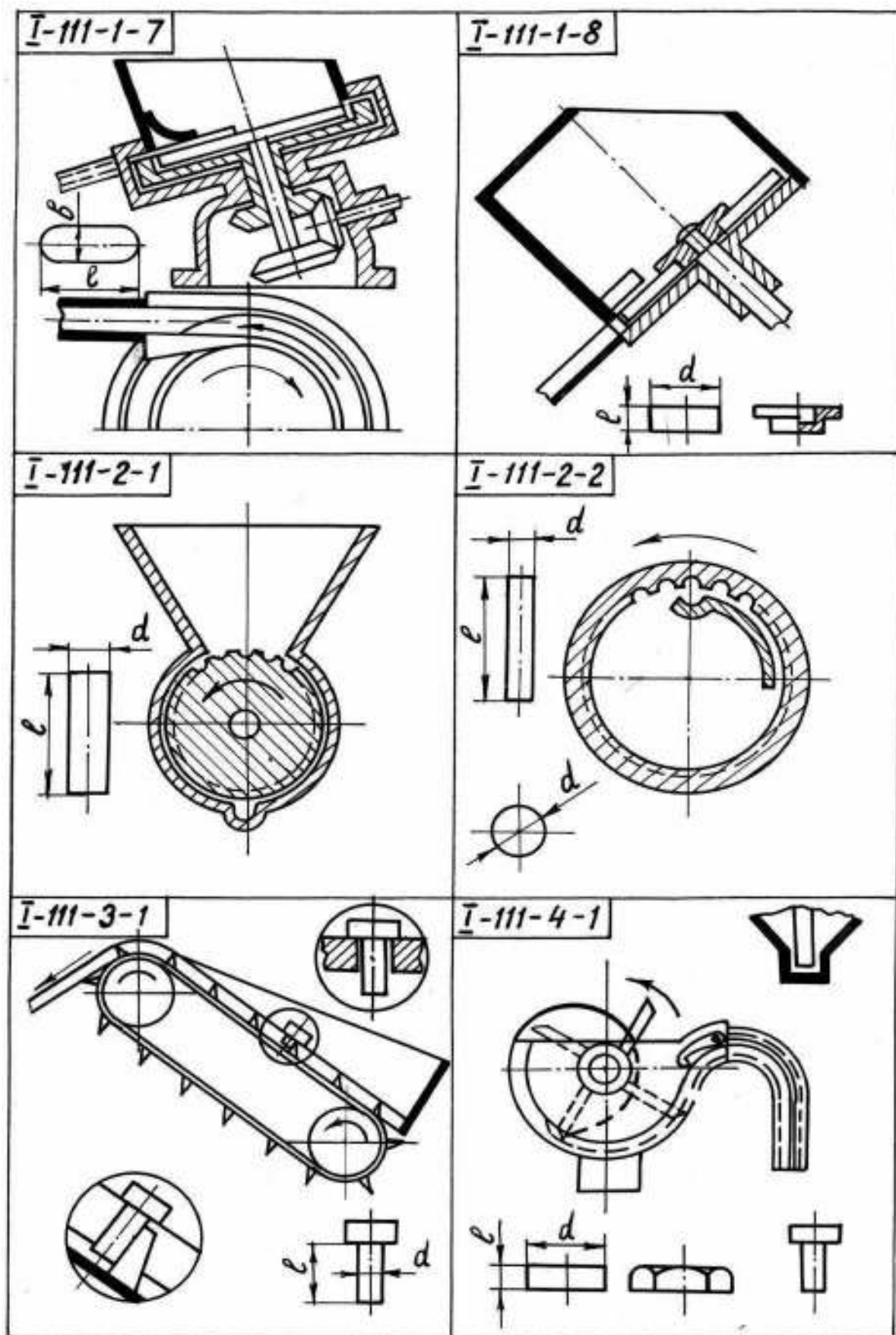


Рис. 24, б. Конструкции бункеров

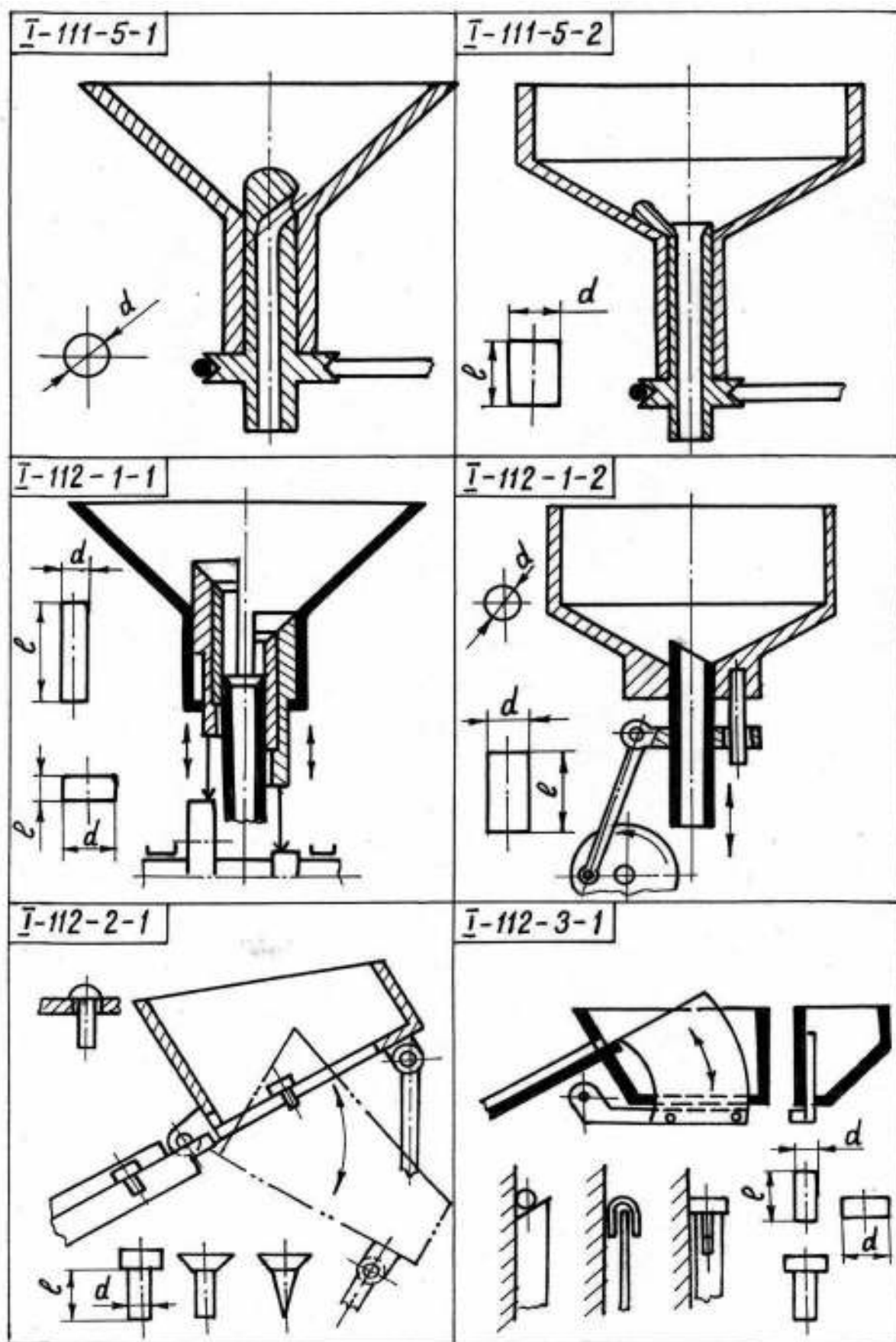


Рис. 24, в. Конструкции бункеров

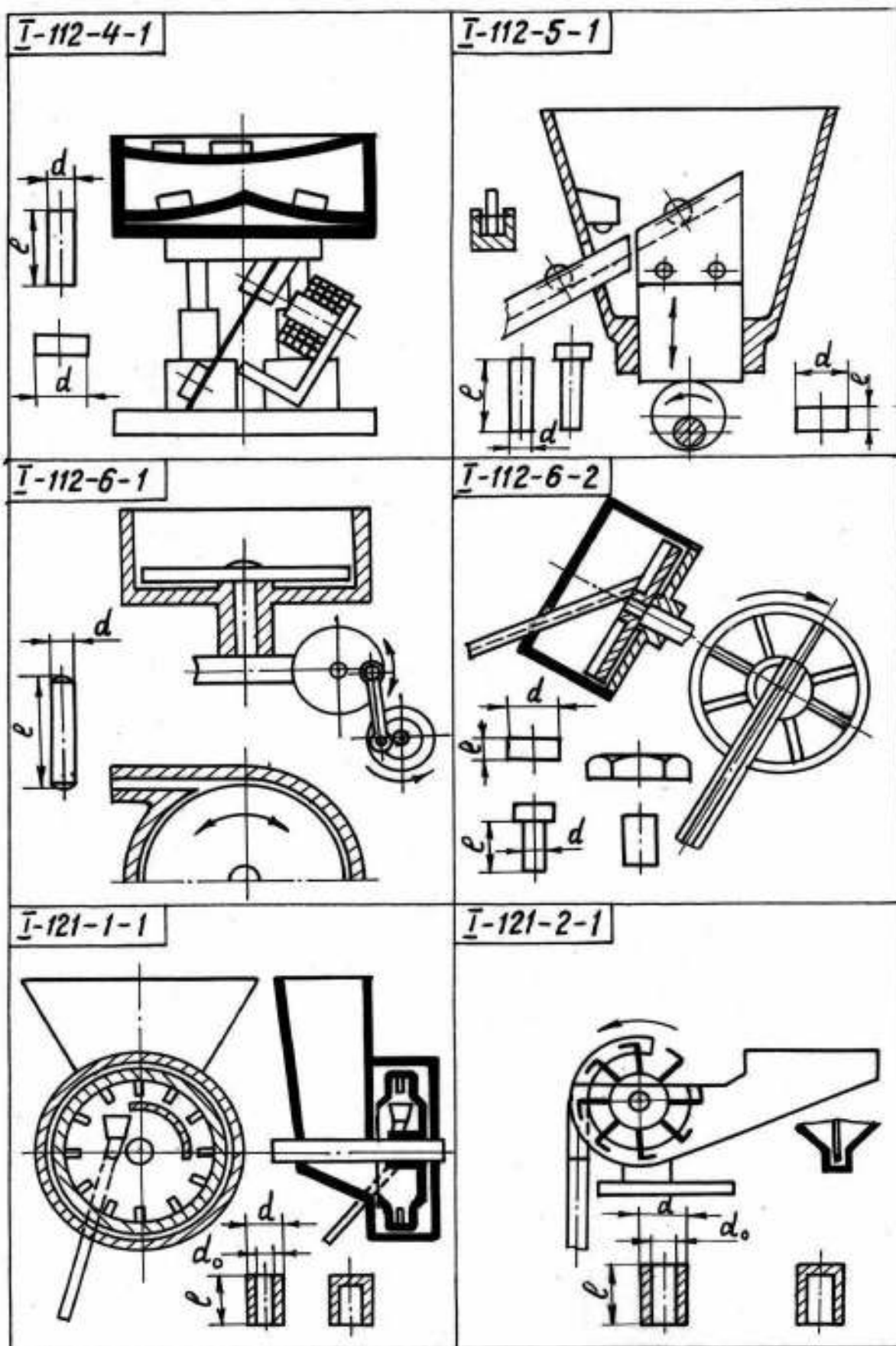


Рис. 24, г. Конструкции бункеров

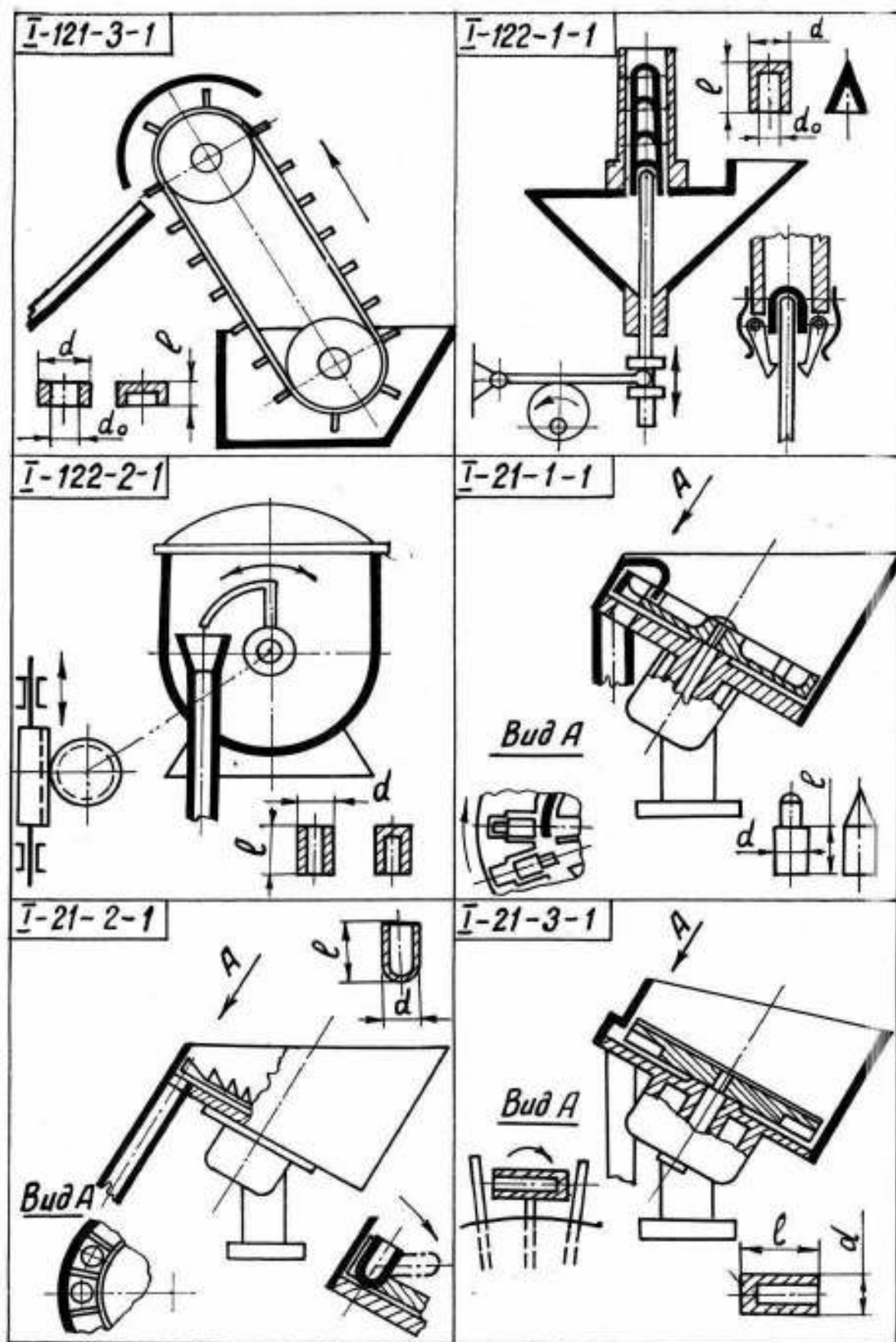


Рис. 24, д. Конструкции бункеров

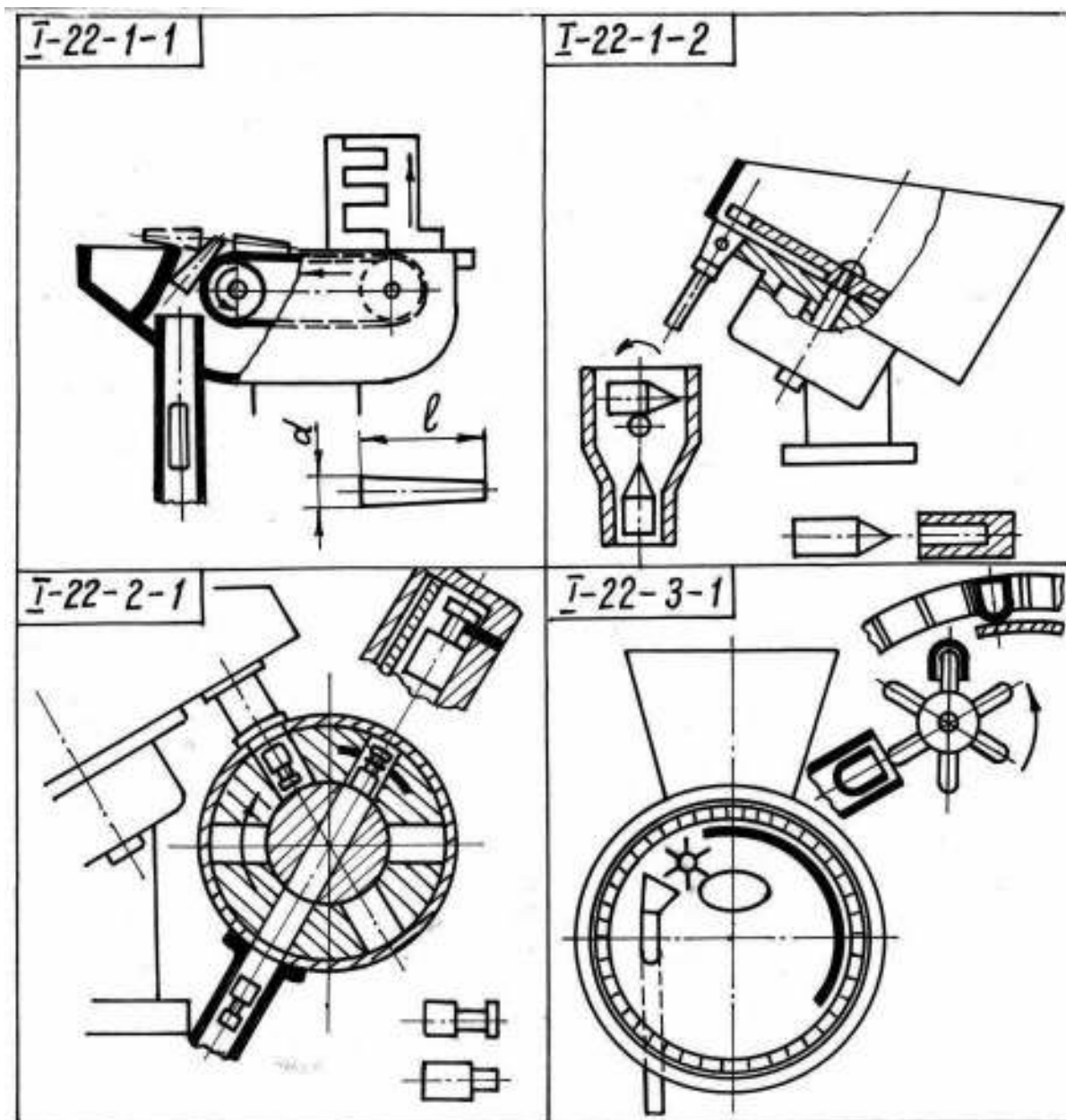


Рис. 24, е. Конструкции бункеров

Для выделения каждой группы загрузочных устройств в классификационной схеме использованы символьные обозначения в виде составных номеров. Необходимо заметить, что классификация условна и не является общепринятой. Однако она позволяет отразить многообразие конструкций бункерных загрузочных устройств и некоторые их особенности.

В соответствие с этой классификационной схемой на рис. 24 приведены конструктивные схемы бункерных загрузочных устройств. Для каждой конструкции приведены эскизы типовых объектов загрузки. Представленные схемы на рис. 24 поясняют основной принцип, заложенный в бункерное загрузочное устройство. Реальное осуществление устройства обычно связано с применением дополнительных конструктивных усложнений, важнейшими из которых являются приспособления для устранения нарушений в работе бункера, например, при переполнении приемного лотка заготовками и при заклинивании заготовок. С этой целью в бункерах применяют различные подпружиненные крышки, отражатели и сбрасыватели, возвращающие заготовки в бункер в случае переполнения приемного лотка.

Полуавтоматические загрузочные устройства (магазинные) требуют ручной первичной ориентации детали. Остальные функции выполняются автоматически. Такие устройства обычно проще бункерных загрузочных устройств, но менее производительны.

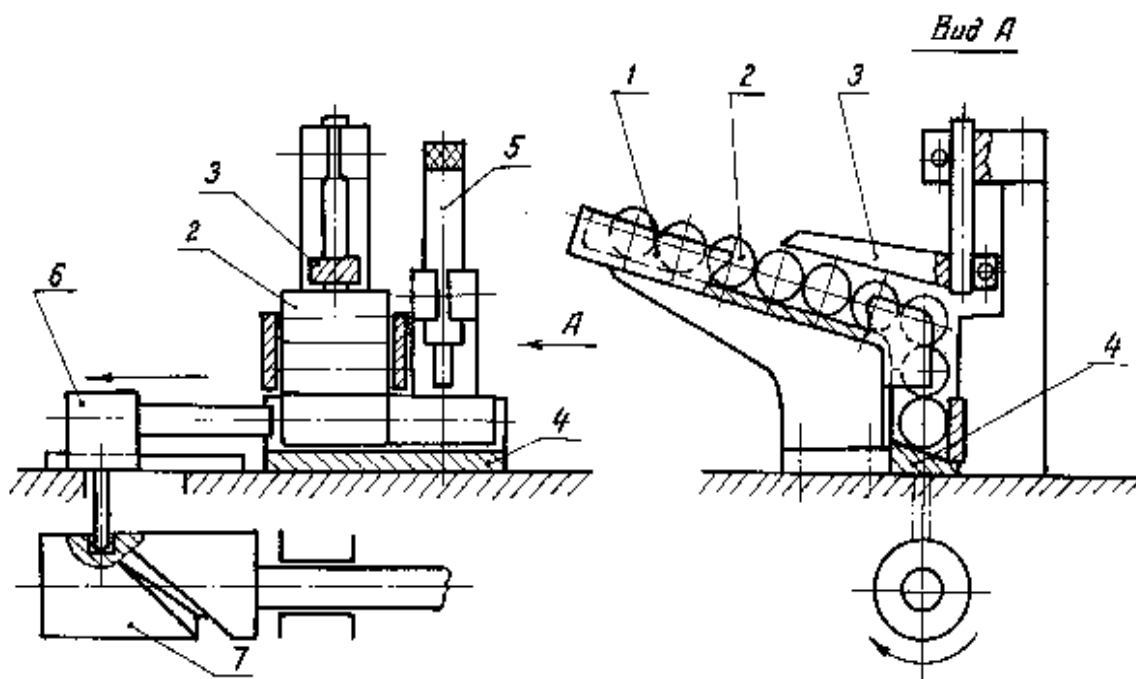


Рис. 25. Полуавтоматическое загрузочное устройство

На рис. 25 приведен пример магазинного загрузочного устройства для загрузки роликов. Магазин выполнен в виде наклонного лотка 5, куда вручную загружают ролики 2. Под действием собственного веса ролики скатываются на базирующую призму 6. Направляющая планка 3 предотвращает заклинивание роликов. Толкателем 1, приводимым в движение от торцевого кулачка 7, ролик подается на позицию обработки 4.

Магазинные загрузочные устройства также специализированы и работают с объектом определенной конфигурации или допускают только небольшие вариации его конфигурации. Производительность их ниже производительности бункерных загрузочных устройств.

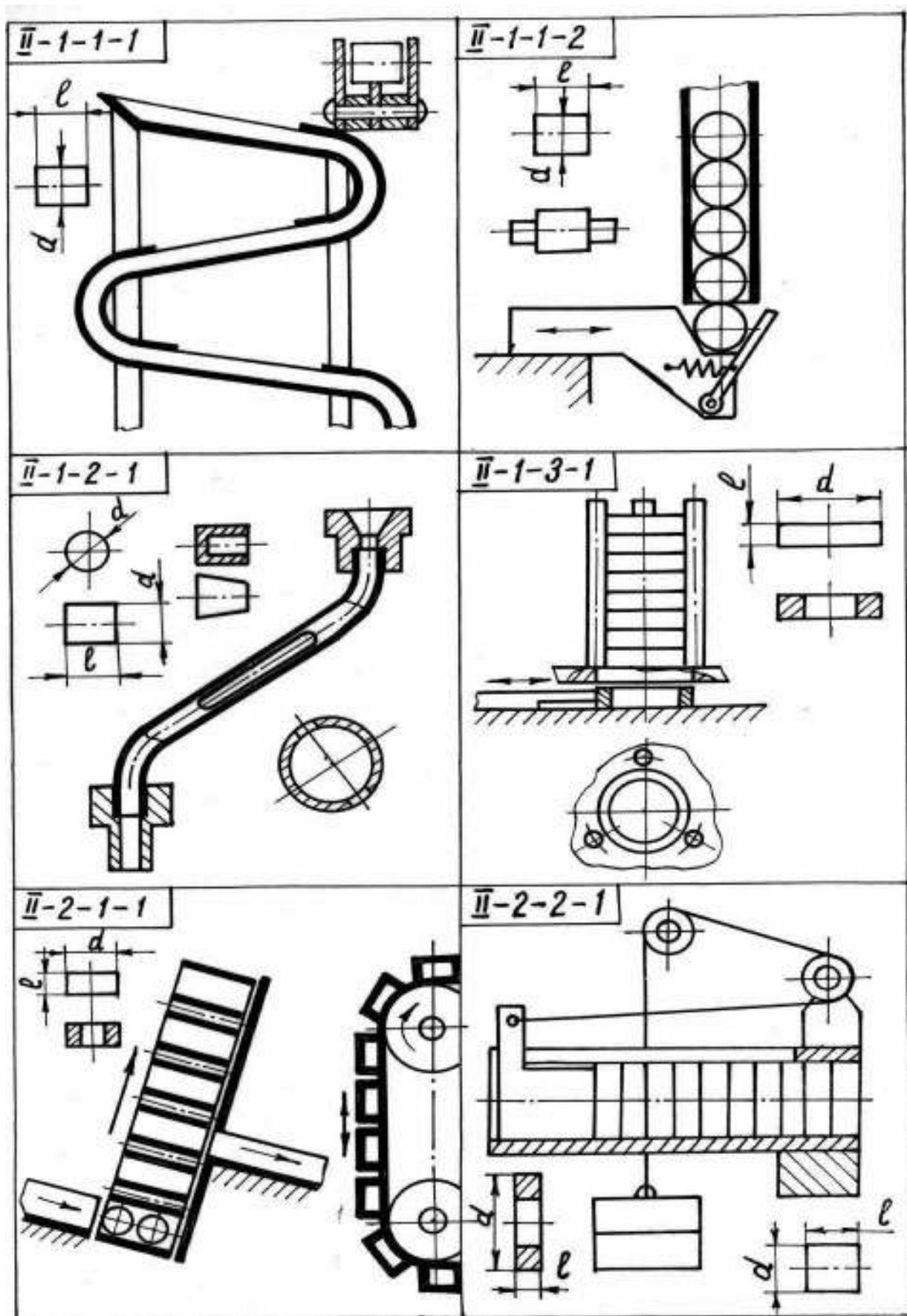


Рис. 26, а. Конструкции магазинов

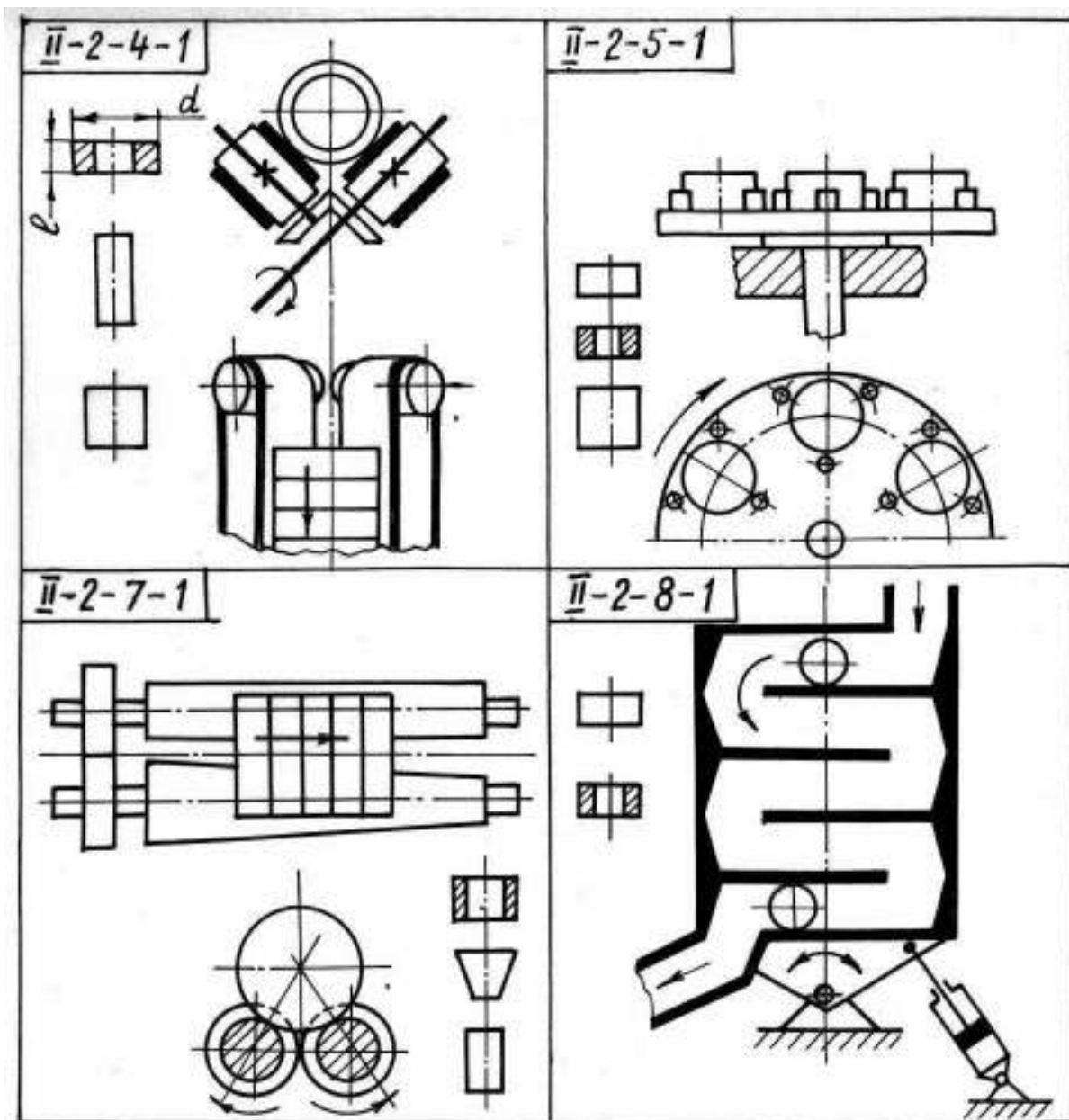


Рис. 26, б. Конструкции магазинов

На рис. 26 приведены конструктивные схемы для наиболее распространенных магазинных загрузочных устройств. Существуют различные конструктивные схемы магазинных загрузочных устройств, которые объединены общим принципом действия. Так же как и бункерные загрузочные устройства, различные типы магазинных загрузочных устройств применяют для разных видов объектов загрузки. Для каждой конструктивной схемы магазина

приведены эскизы загружаемых деталей, для которых данный магазин применим.

При выборе загрузочного устройства для технологического автомата и при конструктивной разработке загрузочного устройства необходимо обеспечить: наличие технической возможности применения выбранного загрузочного устройства для загрузки объектов данной конкретной формы с данными размерами; обеспечение заданной производительности питания автомата заготовками (для соблюдения требуемой производительности автомата, определяемой из технических и экономических соображений); наличие такой емкости загрузочного устройства, которая обеспечивала бы непрерывную и бесперебойную работу автомата с одной загрузки в течение промежутка времени, устанавливаемого исходя из норм обслуживания автомата и требуемых технико-экономических показателей; обеспечение наименьшей конструктивной сложности и стоимости загрузочного устройства при выполнении требуемых технико-экономических показателей.

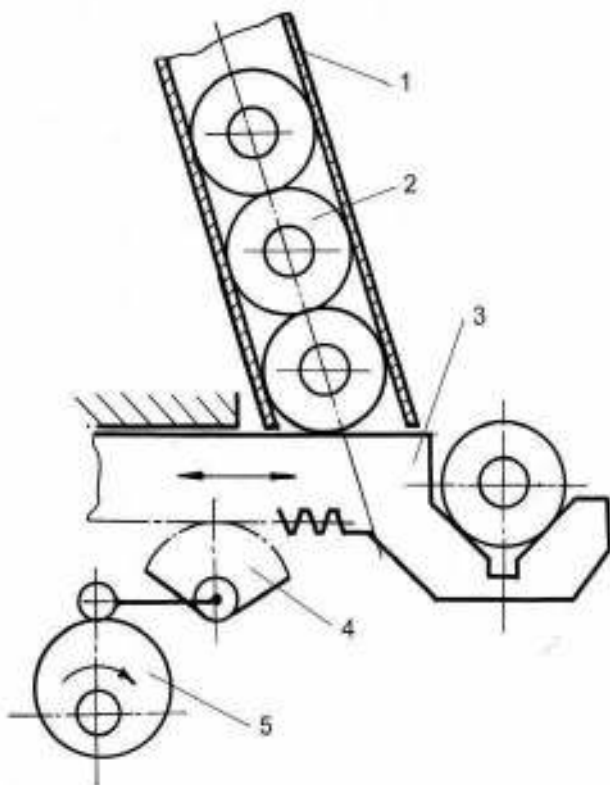


Рис. 27. Механизм поштучной выдачи

Для разделения потока ориентированных объектов загрузки во времени на выходе загрузочного устройства устанавливается механизм поштучной выдачи объектов загрузки технологическому автомату. Механизм поштучной выдачи исключает несогласованность загрузочного устройства и автомата во времени. Такие устройства разнообразны и их конструктивная реализация во многом определяется формой объекта загрузки.

В качестве примера на рис. 27 показана схема механизма поштучной выдачи цилиндрических заготовок из лоткового магазина. В наклонном лотке – магазине 1 находятся в ориентированном упорядоченном состоянии цилиндрические втулки 2 (заготовки).

Под действием силы веса втулки упрутся в поверхность ползуна 3, который совершает возвратно-поступательные движения. Привод ползуна осуществляется от кулачкового вала 5 через зубчатый сектор

4 и реечную передачу. За один ход ползун может переместить только одну заготовку.

Для загрузки-разгрузки автоматического оборудования могут использоваться также цикловые автоматические манипуляторы и автооператоры. Такие устройства являются цикловыми автоматами специального назначения и широко используются для загрузки-разгрузки станков-автоматов.

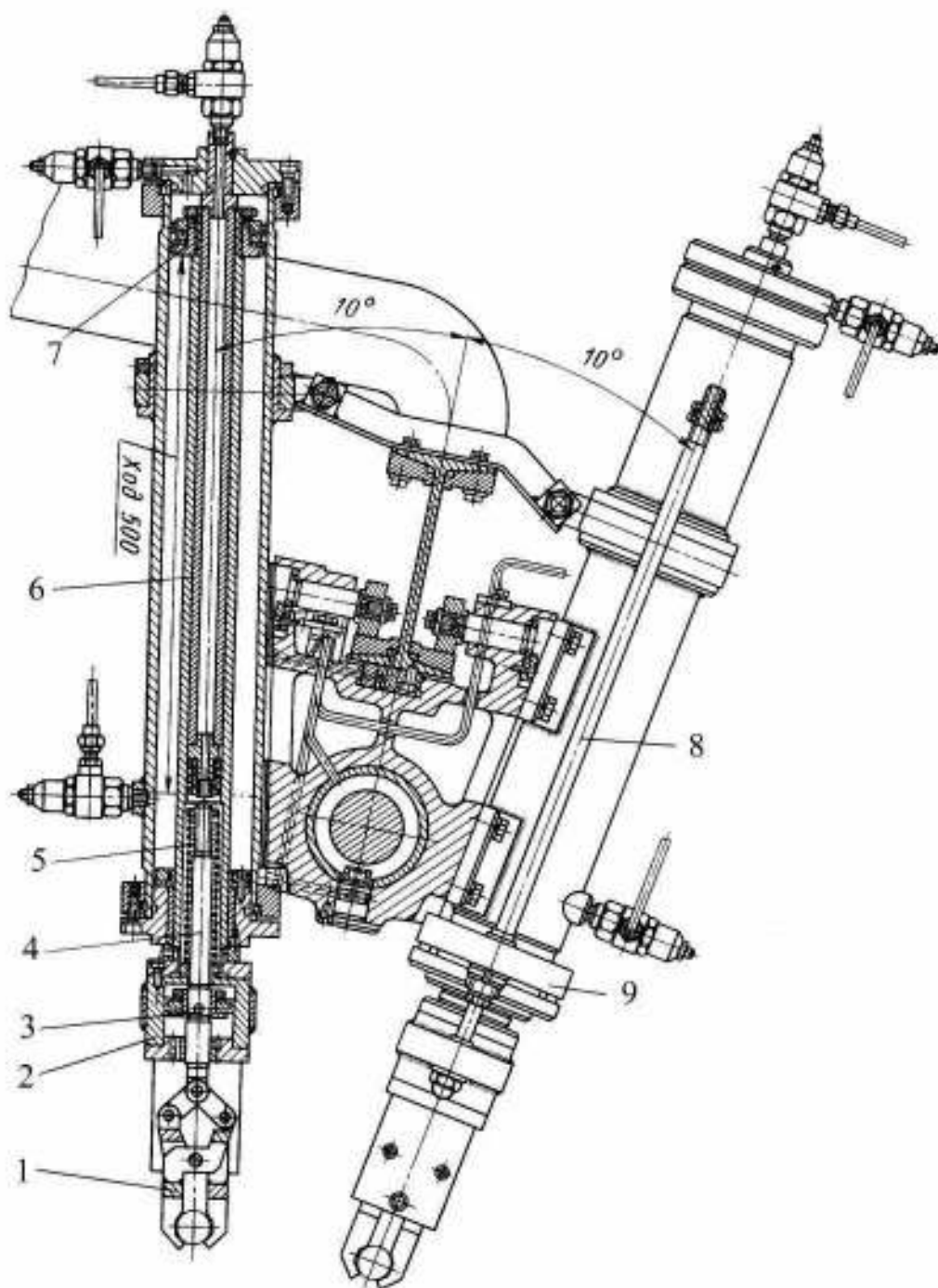


Рис. 28. Манипулятор – механическая рука

Одна из конструкций манипулятора в виде сдвоенной механической руки показана на рис. 28. Каждая из механических рук имеет привод в виде сдвоенного пневмо- или гидроцилиндра. Шток 6 с поршнем 7 служит для перемещения руки 2. Полость штока является цилиндром для штока 4 с поршнем 3, поворачивающих губки клещевого захвата 1. При ходе штока 4 вниз клещи раскрываются,

освобождая транспортируемую деталь. Обратный ход обеспечивает пружина 5. Поворот механической руки относительно оси штока при подъеме и опускании предупреждается штангами 8, закрепленными одним концом в корпусе руки и проходящими через направляющие втулки во фланце 9.

Корпус руки перемещается по монорельсу вдоль обслуживаемого оборудования. Недостаток такой конструкции – её сложность. Привод механических рук предпочитают делать пневматическим. Это повышает скорость их срабатывания, а, следовательно, сокращает потери времени на загрузку станка; пневмопривод достаточно надежен в работе. На гидрофицированных станках привод механических рук целесообразно выполнять гидравлическим.

Механическую руку при необходимости используют для поворота детали перед подачей с транспортера на станок (например, в случае, когда на одном станке обрабатывают деталь с одного конца, а на втором станке – с другого).

2.3.2 Выбор загрузочного устройства и его предварительный расчет

При проектировании загрузочного устройства для технологического автомата или полуавтомата конкретизируются общие требования к загрузочному устройству. Прежде всего, необходимо иметь чертеж загружаемого объекта с техническими требованиями к нему. Для выбора и проектирования загрузочного устройства из общего комплекса технико-экономических показателей используют следующие: производительность автомата (или полуавтомата) Q_a ; требуемую длительность t_p работы с одной загрузки заготовками без вмешательства обслуживающего оператора (это время устанавливается исходя из норм обслуживания автомата и из допустимости или недопустимости постоянной занятости при автомате обслуживающего оператора); ориентировочную допустимую стоимость загрузочного устройства C_3 .

В процессе расчета определяют основные параметры загрузочного устройства, которые перечислены на рис. 29. Требуемую среднюю производительность загрузочного устройства определяют из производительности технологического автомата

$$Q_3 = (1.15 \div 1.25) Q_a.$$

Эта производительность берется на 15–25 % выше, чем требуемая производительность автомата для обеспечения бесперебойной работы последнего с заданной производительностью.

Исходя из требуемой длительности работы с одной загрузки и производительности автомата, определяют емкость загрузочного устройства:

$$W_3 = Q_a \cdot t_p + W_{\min},$$

где W_{\min} – наименьшее необходимое для нормальной работы число заготовок в загрузочном устройстве. Ориентировочно $W_{\min} = (0,15 - 0,30)W_3$.

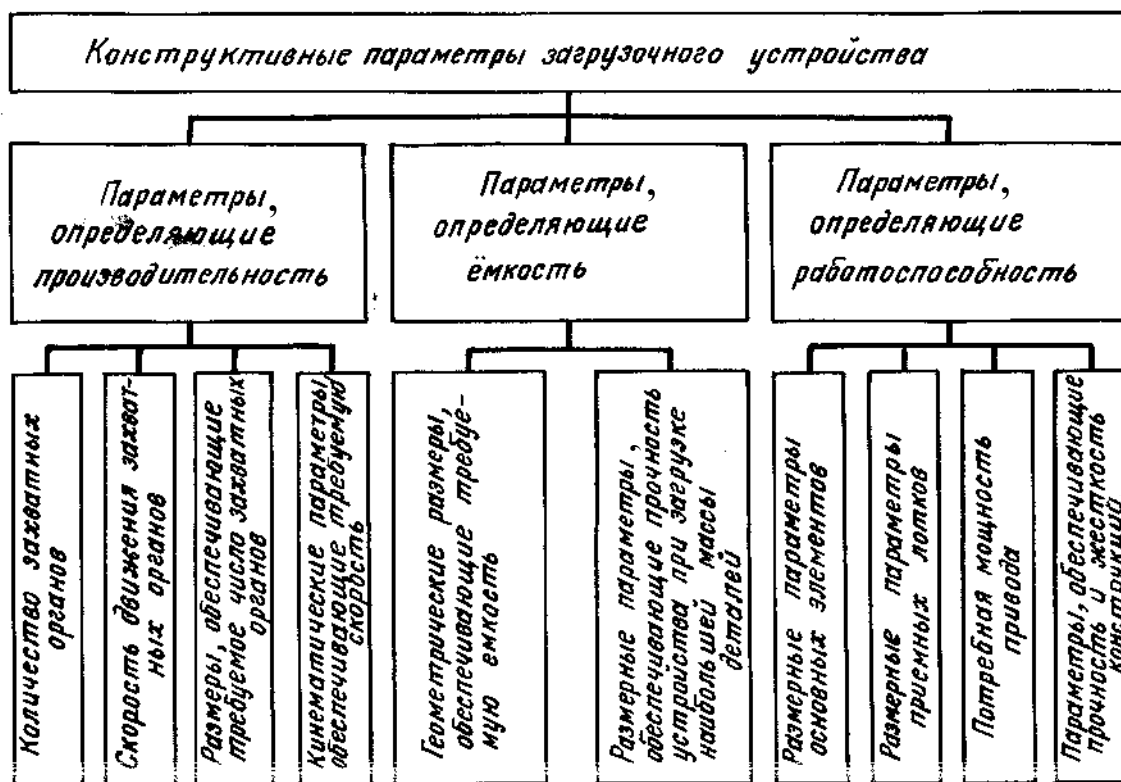


Рис. 29. Расчетные параметры загрузочного устройства

На основе полученных величин производительности загрузочного устройства и его емкости, а также руководствуясь данными чертежа загружаемого объекта, производят выбор типа загрузочного устройства, прежде всего выбор автоматического (бункерного) или полуавтоматического (магазинного) загрузочного устройства. Магазинные загрузочные устройства более просты по конструкции, имеют меньшую стоимость, но одновременно обладают и более высокой трудоемкостью обслуживания, что повышает расходы на эксплуатацию в целом.

Выбор автоматического или полуавтоматического типа загрузочного устройства целесообразно производить, руководствуясь накопленным опытом проектирования.

При этом принимают во внимание требуемую производительность автомата (и загрузочного органа) и массу загружаемого объекта. При выборе типа загрузочного устройства необходимо учитывать особенности загружаемого объекта. Например, детали сложной формы, крупные или очень мелкие (детали часового производства) не всегда поддаются бункерной загрузке; в этих случаях независимо от требуемой производительности автомата приходится применять магазинную загрузку. Не поддаются бункерной загрузке также детали с особыми требованиями к качеству поверхности: оптические детали, кварцевые резонаторы и т. д., которые не допускают загрузки навалом и принудительного ворошения в бункере.

Конкретную конструктивную схему магазинного или бункерного загрузочного устройства выбирают, исходя из вида объекта загрузки с учетом возможности обеспечения требуемой производительности загрузки.

Выбор конкретной конструктивной схемы загрузочного устройства необходимо обосновать проверочным расчетом его достижимой производительности и сравнением расчетной величины с требуемой.

Производительность бункерных загрузочных устройств (исключая питатель) связана с количеством захватных органов, скоростью их движения, конструктивными и принципиальными особенностями бункерного устройства, которые принято характеризовать коэффициентом вероятности захвата загружаемых деталей.

Для бункерных загрузочных устройств с поштучной выдачей объектов производительность загрузки

$$Q_{\text{з}} = z \cdot n \cdot \eta = \frac{v \cdot \eta}{m},$$

где z – число захватных органов; n – частота вращения или число двойных ходов захватного органа в минуту; η – коэффициент вероятности захвата детали захватным органом; v – линейная (окружная) скорость движения захватного органа; m – линейный (окружной) шаг захватных органов.

В случае, когда загрузочный орган выдает объекты порциями по нескольку штук, его производительность

$$Q_{\text{з}} = z \cdot n \cdot w \cdot \eta,$$

где w – число одновременно захватываемых объектов. Для устройств с непрерывной выдачей объектов

$$Q_{\text{з}} = v \cdot \frac{\eta}{l_{\text{д}}},$$

где $l_{\text{д}}$ – длина загружаемого объекта в направлении его движения.

В приведенных выражениях связаны основные конструктивные параметры (z , m , $l_{\text{д}}$, w) и эксплуатационные параметры (n , η , v) загрузочного устройства с его производительностью. Используя эти выражения, можно оценить необходимую величину указанных параметров для получения требуемой производительности Q_3 .

С другой стороны, по расчетным величинам перечисленных параметров представляется возможным оценить реальную приемлемость требуемых размеров загрузочного устройства и его кинематики. Например, если выбран дисковый тип загрузочного устройства и для него определены требуемый шаг захватных органов,

число захватных органов и линейная скорость перемещения захватного органа, то по этим величинам нетрудно определить требуемый диаметр захватного диска и степень сложности промежуточной кинематической передачи от привода к захватному органу. При этом, руководствуясь заранее установленными ограничениями, выбранными из конструктивных и эксплуатационных соображений, следует оценить приемлемость полученных параметров и возможность конструктивного осуществления загрузочного бункера с расчетными параметрами.

Фактическую связь расчетных параметров с размерами бункера и требованиями к его кинематике определяют из конкретной выбранной конструктивной схемы загрузочного устройства. Таким образом, оценочные расчеты основных размеров бункера и требуемых параметров привода в каждом конкретном случае не представляют труда и в связи с этим здесь не рассматриваются.

В расчетные выражения для оценки производительности бункерного загрузочного устройства входит коэффициент вероятности захвата η загружаемых объектов. Эта величина для определенного бункерного устройства не остается постоянной, а колеблется в некоторых пределах. В связи с колебанием коэффициента η вероятности захвата происходит циклическое колебание во времени производительности загрузочного Q_z . Для бесперебойной работы автомата с производительностью Q_a необходимо обеспечить $[Q_z]_{\min} \geq Q_a$, но в этом случае загрузочный орган в основном будет работать с избыточной производительностью, что не является рациональным.

Поэтому выбирают $[Q_a]_{\text{сред}} \approx Q_a$ и между бункером и рабочей позицией автомата вводят магазин, накапливающий детали в период избыточной производительности бункера и расходующий их в период ее понижения. Введение магазина при этом делает более ритмичной работу загрузочного органа.

Емкость вспомогательного магазина может быть оценена по следующей зависимости

$$W_i \geq q_m T / (2 \div 3), \quad q_m \approx \frac{(\eta_{\max} - \eta_{\min}) [Q_a]_{\text{н\ddot{o}\ddot{a}\ddot{a}}}}{2\eta_{\text{н\ddot{o}\ddot{a}\ddot{a}}}},$$

где $T = k/n$ – период изменения производительности загрузочного устройства.

Производительность магазинных загрузочных устройств определяют исходя из времени, необходимого для перемещения объекта из ее исходного положения в магазине в питатель

$$Q_\varphi = \frac{1}{t_\varphi},$$

где t_3 – время загрузки объекта.

Время t_3 определяется характером движения объекта при выдаче из магазина. Например, если объект скользит по наклонной плоскости (по лотку) при выдаче из магазина на рабочую позицию автомата, то

$$t_\varphi = k \sqrt{\frac{2H}{g \cdot \sin \alpha \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)}},$$

где H – смещение объекта по высоте, α – угол наклона плоскости, μ – коэффициент трения, $k = 2 \div 4$ – коэффициент запаса, g – ускорение от силы тяжести.

В магазинах с внешним приводом длительность загрузки будет определяться кинематикой привода, усилиями, прикладываемыми к объекту, трением его по направляющим магазина, его скоростью перемещения. В том случае, когда перемещение объектов в магазине происходит под действием постоянно приложенной силы от груза или пружины (горизонтальные трубчатые и лотковые магазины), время загрузки

$$t_\varphi = \sqrt{\frac{2s_{\ddot{a}}}{F_{\ddot{a}i} / M_\Sigma - \mu \cdot g}},$$

где s_d – путь, проходимый объектом при загрузке; $F_{\text{вн}}$ – внешняя сила, перемещающая объекты в магазине; M_Σ – суммарная масса перемещаемых объектов.

Если перемещение объектов в магазине осуществляется с постоянной скоростью (ленточные и валковые магазины), то

$$t_{\zeta} = s_{\text{а}} / v_{\zeta},$$

где v_{ζ} – линейная (окружная) скорость перемещения объекта.

Если перемещение объекта в магазине осуществляется с постоянным ускорением (например, некоторые типы дисковых и барабанных магазинов), причем в первой половине пути объект движется равноускоренно, а во второй – равнозамедленно (такой именно режим целесообразен для наименьших динамических нагрузок и вибраций), то

$$t_{\zeta} = 2\sqrt{s_{\text{а}} / a_{\zeta}},$$

где a_{ζ} – величина линейного ускорения объекта при загрузке (рекомендуется $a_{\zeta} \leq (2 \div 3)g$).

Когда объект при магазинной загрузке на отдельных n участках движется под действием силы веса, а на других m участках перемещается внешним приводом (например, конвейерные и секционные магазины), необходимо, разбив общее время загрузки на элементы, определить его составляющие для каждого участка пути и затем определить суммарную величину

$$t_{\zeta} = \sum_1^n t'_{\zeta i} + \sum_1^m t''_{\zeta i},$$

где $t'_{\zeta i}$ – составляющие времени движения объекта под действием силы тяжести; $t''_{\zeta i}$ – составляющие времени принудительного перемещения объекта под действием внешней силы.

Приведенные расчетные соотношения для определения производительности бункерных и магазинных загрузочных устройств связывают их основные конструктивные и эксплуатационные параметры с достижимой величиной производительности. Пользуясь этими соображениями, можно по требуемой производительности загрузочного устройства определить его основные параметры. Кроме того, при наличии тех или иных конструктивных и эксплуатационных

ограничений, рассчитав достижимую величину производительности загрузки и сравнив ее с требуемой величиной, можно проверить правильность выбора загрузочного устройства.

Кроме проверки и обоснования выбора загрузочного устройства по производительности, необходимо оценить и обосновать правильность его выбора с точки зрения обеспечения требуемой емкости, т. к. чем большая емкость требуется, тем больший объем должно иметь загрузочное устройство.

Для бункерного загрузочного устройства, загружаемого объектами загрузки «навалом», требуемый полезный объем

$$V_{\text{д}} \approx \beta \cdot (l_{\text{д}} b_{\text{д}} h_{\text{д}}) \cdot W_{\text{з}},$$

где $l_{\text{д}}$, $b_{\text{д}}$, $h_{\text{д}}$ – наибольшие длина, ширина и высота загружаемого объекта; $\beta = 2 \div 4$ – коэффициент неплотности укладки деталей в бункере; $W_{\text{з}}$ – емкость загрузочного устройства.

Полный объем бункера $V_{\text{д}}'$ должен быть в 1,5–2 раза больше расчетного, поскольку для нормальной работы бункер не должен загружаться полностью. Определив полный объем бункера и задавшись его формой, можно определить размеры бункера и оценить его реализуемость.

Кроме объема бункера, имеет значение суммарная масса объектов загрузки в нем (при максимальной загрузке бункера), которая не должна быть слишком большой

$$M_{\Sigma} = W_{\text{з}} \cdot m_{\text{д}},$$

где $m_{\text{д}}$ – масса одного объекта.

Для магазинного загрузочного устройства, в которое детали помещаются в ориентированном состоянии, целесообразно определять не требуемый объем, а требуемую длину магазина в направлении укладки объектов загрузки

$$L_{\text{д}} = W_{\text{з}} \cdot l_{\text{д}}.$$

В случае дискового магазина величина $L_{\text{м}}$ равна длине окружности, на которой располагаются загружаемые объекты. Зная

величину L_m , нетрудно определить диаметр диска и оценить его реализуемость. Если объекты загрузки в магазине располагаются с промежутками, то величина l_d должна их учитывать.

Для секционных и конвейерных магазинов определяют требуемое число секций:

$$N = W_{\zeta} / \omega_{\zeta},$$

где ω_{ζ} – число объектов в одной секции.

По числу секций и габаритам одной секции определяют общие габариты магазина и оценивают его конструктивную осуществимость.

Общую массу объектов загрузки в магазине рассчитывают так же, как и для бункера. Эта масса может быть значительно больше допускаемой для бункера.

Выбор загрузочного устройства можно считать законченным, если проверочные расчеты его производительности и емкости подтверждают возможность получения требуемых величин при приемлемых конструктивных и эксплуатационных параметрах.

Выбор загрузочного устройства целесообразно производить в определенной последовательности. В качестве исходных данных для проектирования загрузочного устройства принимают: требуемую производительность автомата Q_a , требуемое время работы автомата с одной загрузки t_p , ориентировочную стоимость загрузочного устройства C_3 ; чертеж объекта загрузки и технические требования на него. Определяют требуемую производительность загрузочного устройства по Q_3 .

На основе полученной величины Q_3 и массы объекта загрузки выбирают бункерный или магазинный тип устройства; производят проверку выбранного устройства по производительности. Для этой цели рассчитывают основные конструктивные и эксплуатационные параметры и оценивают их реальную осуществимость. При наличии заранее обусловленных конструктивных и эксплуатационных

ограничений рассчитывают достижимую производительность и сравнивают с требуемой.

В случае отрицательного результата проверки: а) выбирают другой, более производительный тип; б) применяют несколько параллельно работающих загрузочных устройств; в) пересматривают требуемые технико-экономические показатели автомата в сторону уменьшения его производительности.

После выбора и обоснования конструктивной схемы загрузочного устройства осуществляют конструктивный расчет его элементов, применительно к конкретным их типам устройства. При конструктивном расчете уточняют и определяют дополнительные параметры, влияющие на производительность и емкость устройства, и рассчитывают конструктивные параметры, обеспечивающие его общую работоспособность.

2.4 Автоматизация транспортных операций

При автоматизации технологического процесса неизбежно возникает задача транспортирования предмета обработки между технологическими операциями. Наиболее важна эта задача для автоматических линий. Решается задача с помощью автоматических транспортных устройств. Конструкции таких устройств разнообразны и, как правило, ориентированы на определенный тип объекта транспорта (например, тип детали при механической обработке).

При автоматизации массового производства достигается высокая производительность автоматических линий. Темп выпуска изделия с автоматической линии может составлять всего несколько секунд. Это значит, что транспортные устройства должны иметь высокую производительность, что влечет особенности конструктивного исполнения таких устройств.

В зависимости от наличия привода, автоматические транспортные устройства могут быть гравитационного действия (объект перемещается под действием силы тяжести) и с принудительным приводом. По характеру движения объекта транспортные устройства делятся на устройства с непрерывным движением и устройства с прерывистым движением (шаговые устройства). Представление о многообразии автоматических транспортных устройств дает классификационная схема на рис. 30.

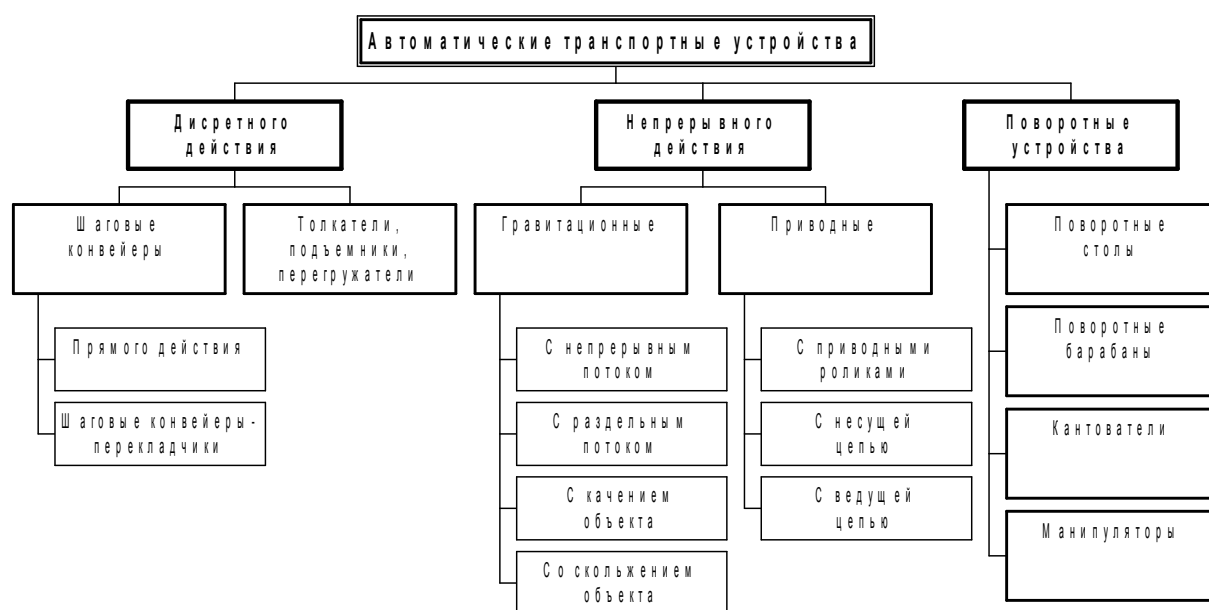


Рис. 30. Классификация автоматических транспортных устройств

Наиболее просты по конструкции транспортные устройства, в которых объекты транспортирования движутся под действием силы тяжести (гравитационные). Такие устройства обычно выполняются в виде наклонного лотка, в котором движется объект. Конструкция лотка такова, чтобы можно было обеспечить свободное движение объекта без его перекосов и заклиниваний в лотке. В процессе движения объект должен сохранять требуемую ориентацию. Кроме

того, необходимо предотвратить произвольное выбрасывание объекта из лотка под действием сил, возникающих при его движении в процессе соударения объектов.

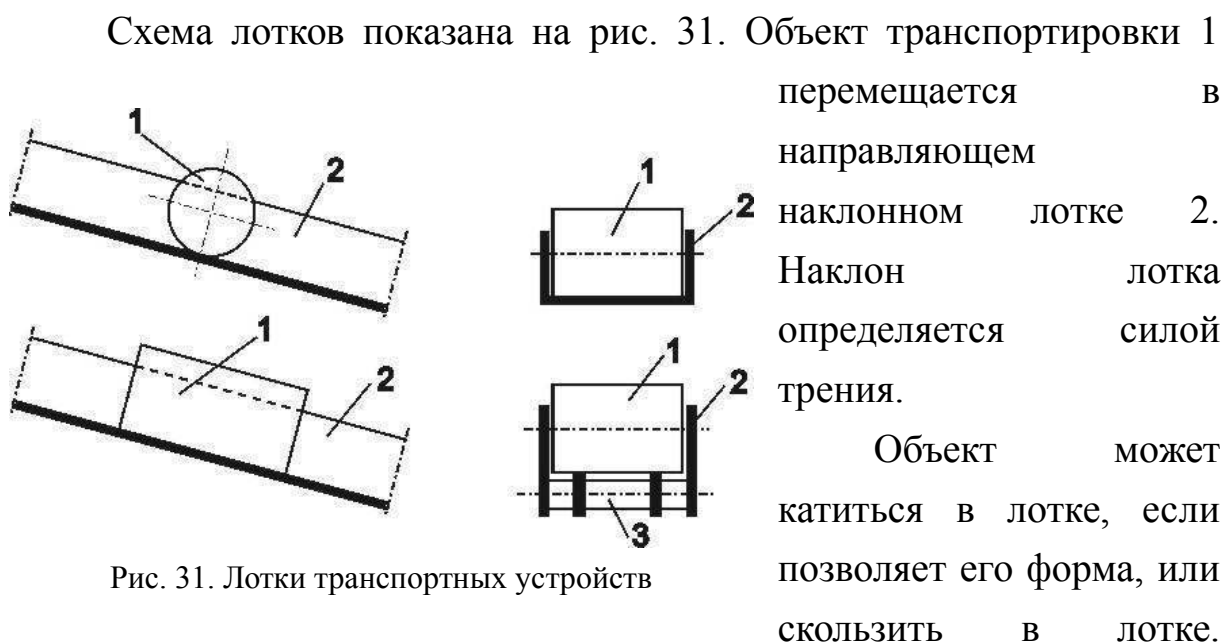


Рис. 31. Лотки транспортных устройств

Соответственно, используются названия лотков: лотки – скаты и лотки – склизы.

Зазоры между торцами объекта и боковыми стенками лотка играют важную роль и должны выбираться из условия предотвращения заклинивания и потери ориентации.

Для возможности переналадки лотка на другие размеры объектов транспорта лотки часто выполняют сборными. Такой лоток собирается из типовых направляющих и опорных деталей с использованием проставок 3, позволяющих регулировать размеры лотка.

При необходимости перемещать объекты значительной массы в одной плоскости широкое распространение получили приводные конвейеры. Конвейеры могут быть непрерывного действия и дискретного действия. К конвейерам непрерывного действия относятся, в первую очередь, роликовые и ленточные конвейеры.

Схема роликового конвейера приведена на рис. 32. Его основу составляют параллельно установленные ролики 2, которые

принудительно вращаются с одинаковой скоростью от специального

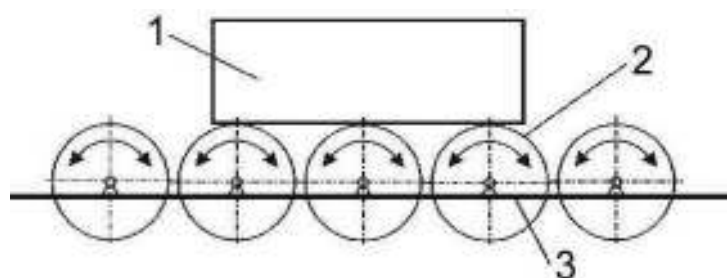


Рис. 32. Роликовый конвейер

привода. Часто используется электромеханический привод с цепной передачей вращения на каждый ролик.

Конструктивно

ролики закреплены в подшипниках, установленных на общем основании (или раме) 3. Объект транспортирования 1 устанавливается на вращающиеся ролики и за счет силы трения перемещается в направлении вращения роликов. При реверсировании вращения роликов направление движения изменяется.

При необходимости остановить объект используется внешний упор. Ролики при остановленном объекте вращаются с проскальзыванием относительно его опорной поверхности. Разгрузочный механизм (фрикционный механизм) может встраиваться в привод роликов. Тогда при остановке объекта останавливаются те ролики, на которые опирается объект транспортирования. Остальные ролики продолжают вращаться.

Несколько проще по конструкции ленточные конвейеры (рис.

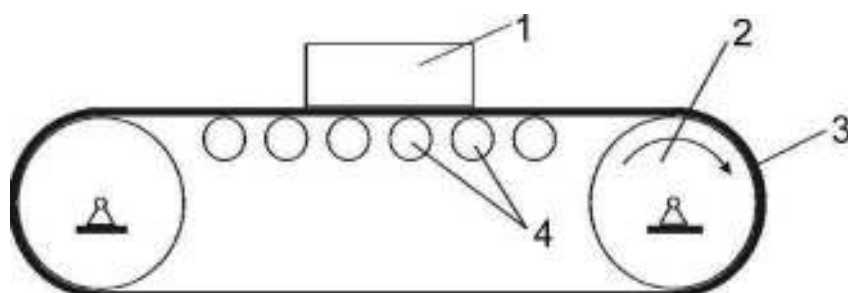


Рис. 33. Ленточный конвейер

33). Объект транспортирования 1 устанавливается на ленту 3 конвейера, которая протягивается ведущим барабаном

2 за счет специального привода. Поскольку жесткость ленты ограничена, то могут использоваться опорные ролики 4, не имеющие привода. Вместо непрерывной ленты могут использоваться шарнирно

– соединенные пластины. В этом случае конвейер называют пластинчатым. К ленточным конвейерам близки цепные конвейеры.

Весьма многочисленны по конструктивному исполнению конвейеры дискретного действия. Часто такие конвейеры

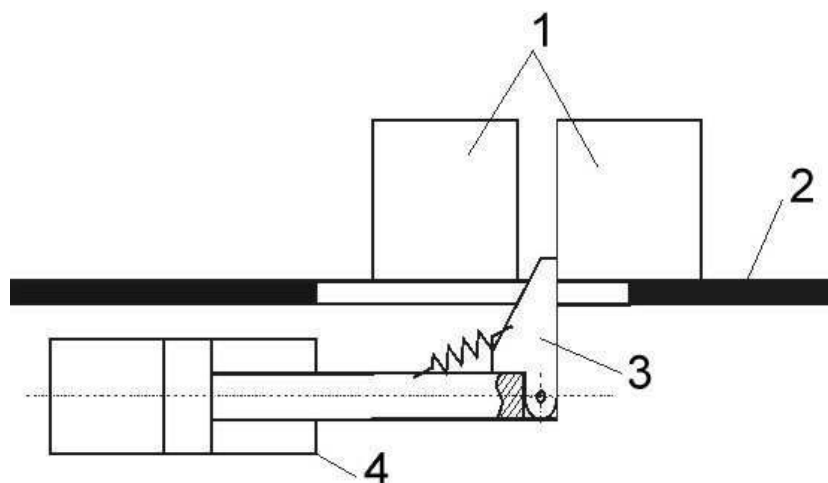


Рис. 34. Шаговый транспортер

используются для объектов крупных габаритов и большой массы. Принцип действия такого конвейера поясняет схема на рис. 34.

Объекты транспортирования 1 установлены на неподвижную опорную поверхность 2. Сквозь прорезь в опорной поверхности выступает толкатель 3, связанный со штоком пневматического или гидравлического цилиндра 4.

При движении штока вправо толкатель упирается в объект и перемещает его на величину хода цилиндра 4. При обратном ходе цилиндра толкатель упирается в предыдущий объект. Поскольку толкатель может поворачиваться вокруг горизонтальной оси и удерживается в вертикальном положении пружиной, то он будет отжат и переместится под очередным объектом в крайнее левое положение.

Проскочив объект, толкатель снова займет вертикальное положение и упрется в следующий объект, подготовив очередной рабочий ход загрузочного устройства. Величина перемещения ограничена величиной рабочего хода цилиндра привода. В устройстве могут использоваться и другие типы приводов, например, электромеханические приводы.

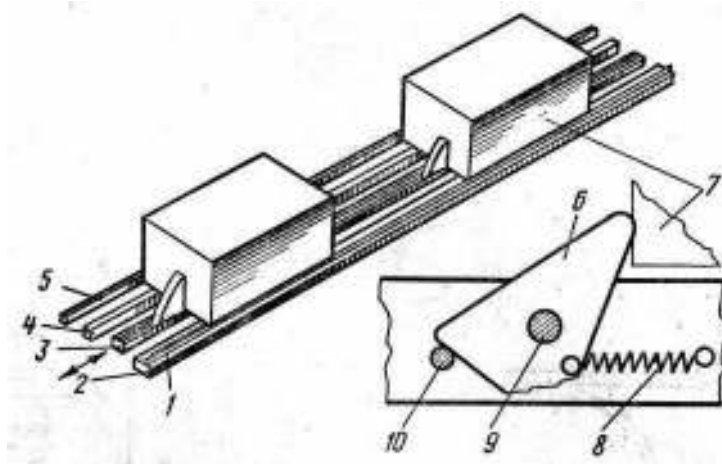


Рис. 35. Реализация шагового транспортера

Пример конструктивной схемы дискретного шагового транспортера приведен на рис. 35. Для направления перемещаемого объекта 7 служат нижние направляющие 2, 4 и боковые направляющие 1, 5. Перемещение

осуществляется штангой 3, совершающей возвратно-поступательные движения.

На штанге 3 через равные промежутки шарнирно закреплены собачки 6 на осях 9. Под действием пружин 8 собачки прижимаются к упорам 10 и упираются в перемещаемый объект 7. При движении штанги вперед объект перемещается по направляющим на один шаг. При обратном движении штанги собачки утапливаются внутрь гнезд штанги за счет растяжения пружин 8. При дальнейшем движении штанги назад собачки, пройдя под объектом, поворачиваются в исходное положение и готовы для перемещения очередного объекта.

Необходимые перемещения шагового транспортера с собачками осуществляются от гидравлического привода.

Основной характеристикой транспортного устройства является его производительность, которую можно определить числом объектов, перемещаемых транспортным устройством в единицу времени

$$Q_0 = \frac{v_{\text{сред}}}{l_{\text{сред}}},$$

где $v_{\text{сред}}$ — средняя скорость перемещения объекта транспорта в цикле транспортирования, $l_{\text{сред}}$ — среднее расстояние перемещения в одном цикле транспортирования.

Рассмотрим ряд примеров конструктивных схем автоматических транспортных устройств, используемых при жесткой автоматизации производства массовой и крупносерийной штучной продукции. Каждое такое устройство специализировано для транспортирования конкретного объекта с определенными размерами. При изменении конфигурации транспортируемого объекта требуется переналадка транспортного устройства, которая обычно возможна только в ограниченных пределах.

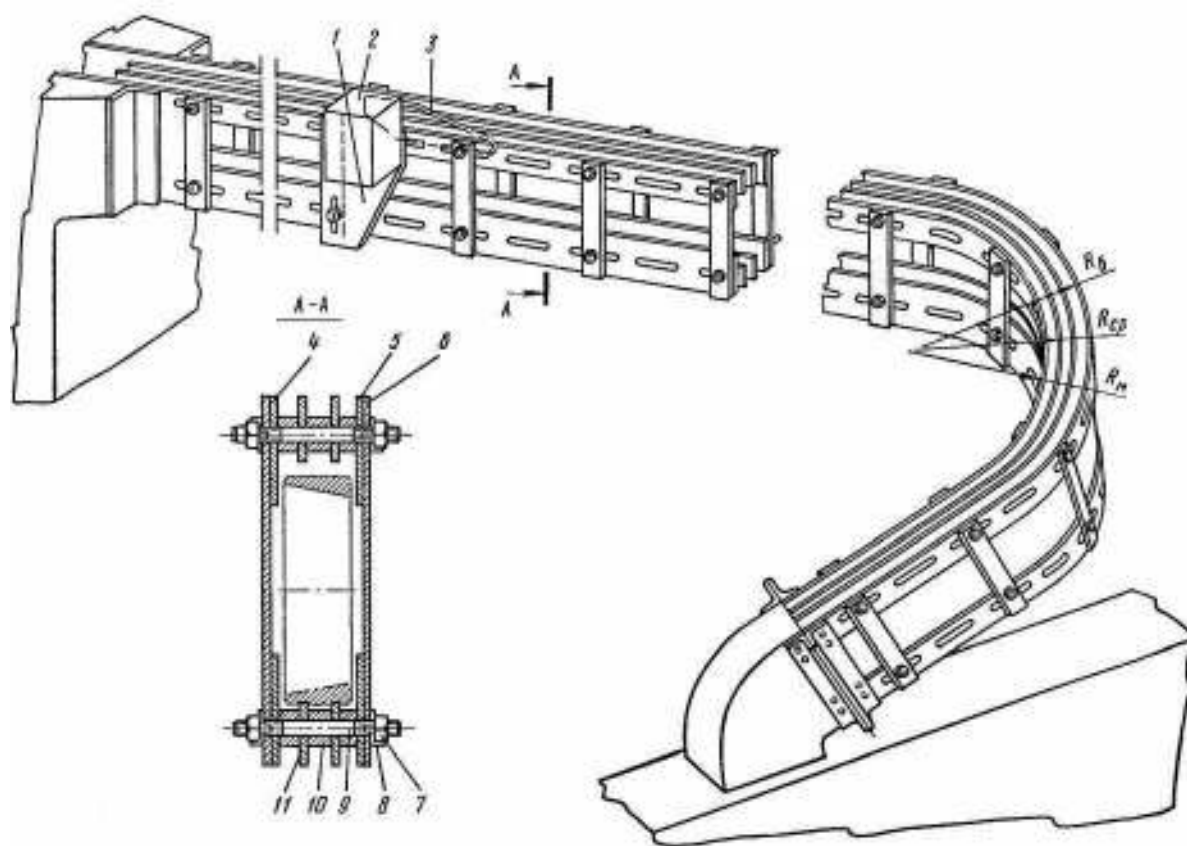


Рис. 36. Лотковый транспортер

Перемещение деталей в автоматических линиях для обработки типа колец, фланцев и т. п. осуществляется с помощью гибких лотков, конструкция которого показана на рис. 36. Особенностью гибких лотков является возможность их подгонки по месту установки за счет изменения изгиба лотка. Гибкий лоток изготавливают из полос нагартованной пружинной листовой стали (марки 65Г). Ширина полос определяется габаритами деталей.

Изображенный на рис. 6 гибкий лоток предназначен для перемещения наружного кольца подшипника. Лоток образован боковыми стенками 4, 5 и опорными полосами 11. Эти детали соединены между собой с помощью промежуточных втулок 10, шпилек 9, гаек 7 с шайбами 8. Боковые стенки 4 и 5 соединены вертикальными планками 6 (через определенный шаг), которые определяют высоту лотка (диаметр кольца подшипника).

Ширина лотка определяется длиной промежуточных втулок 10. При необходимости на гибких лотках устанавливают на кронштейнах 1 контактные датчики 2, контролируемые при помощи щупов 3 состояние заполнения лотков деталями, а также количество прошедших деталей.

Для перемещения крупных деталей (например, колец железнодорожных подшипников, диаметром 200–280 мм и др.) обычно используют приводные рольганговые транспортеры. Приводной рольганговый транспортер (рис. 37) состоит из отдельных секций – рольгангов. Секции могут располагаться под углом друг к другу. При транспортировании детали перемещаются с одной секции на другую с помощью специальных устройств.

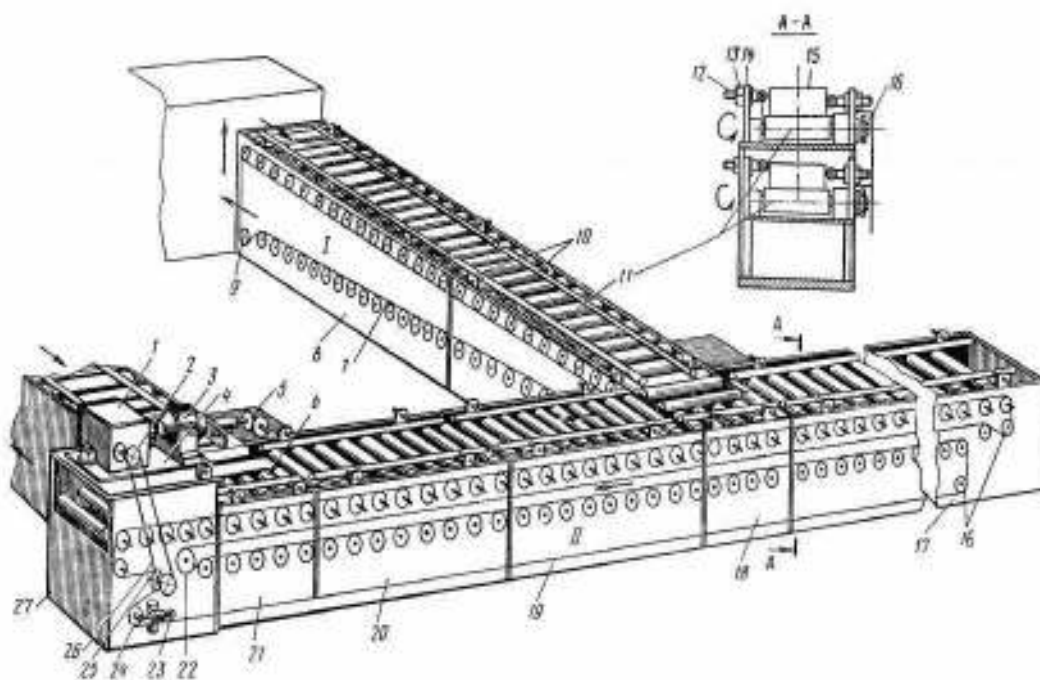


Рис. 37. Приводной роликовый транспортер

Основу транспортера составляют рольганги в виде параллельных приводных валков 11. Транспортируемые детали 15 устанавливаются на рольганги и движутся за счет вращения валков в сторону вращения.

Оси валков 11 смонтированы в стойках 14 на шарикоподшипниках. Каждый транспортер состоит из унифицированных секций различных типов: приводной секции 27, разветвительных секций 18, промежуточных секций 20, 21, концевых секций 8 и 17 и др.

Секция транспортера представляет собой сварную конструкцию, в боковых стенках которой укреплены верхние и нижние валки 11. Чтобы предотвратить сползание деталей с рольгангов, в транспортере предусмотрены ограничители 10, закрепляемые в стойках 14 винтами 12 с гайками 13.

Разветвительная секция 18 обеспечивает взаимодействие двух транспортеров I и II, расположенных под прямым углом друг к другу. Передача с одного транспортера на другой выполняется укороченными валками 6, находящимися в местах стыка рольгангов. При вращении валков, расположенных перпендикулярно друг другу, в местах стыка возникает дополнительное усилие, которое изменяет направление движения деталей на 90°.

Рольганги расположены в двух ярусах (сеч. А–А), что позволяет одновременно подавать заготовки к технологическим автоматам и удалять обработанные детали. Взаимодействие между ярусами осуществляется автоматическими загрузчиками, служащими для загрузки и выгрузки деталей после обработки на технологических автоматах.

Валки приводятся во вращение от электрического привода (электродвигатель 3, редуктор 1) через цепную передачу, включающую цепь 19 и звездочки 16, насаженные на концы осей

валков 11. Вращение валков верхнего и нижнего рольганга осуществляется цепью 19 посредством звездочек 22, 24, 25 и др.

Требуемое натяжение цепи 19 обеспечивается перемещением натяжной звездочки 24 при помощи винта 23. Движение цепи 19 передается от электродвигателя через звездочку 2, цепь 26 и звездочку 25. Необходимое натяжение цепи 26 производят поворотом плиты 4 (от винта). В боковом транспортере вращение роликам сообщается с помощью замкнутой цепи 7, приводимой в движение от конической пары зубчатых колес 5, связанных с цепью 19. Натяжение цепи 7 осуществляется перемещением звездочки 9.

Конструкция транспортного устройства в существенной мере определяется конфигурацией и характеристиками объекта транспортирования. Это обстоятельство существенно затрудняет создание универсальных автоматических транспортных средств. Использование типовых конструкций транспортеров возможно для объектов транспортирования с типовыми характеристиками.

Так, при механической обработке сложных деталей призматической формы, часто используются технологические приспособления – спутники унифицированной конструкции. Для транспортирования спутников, с установленными на них обрабатываемыми деталями, можно использовать типовые транспортеры. Пример конструкции транспортера приведен на рис. 38.

Транспортируемое приспособление-спутник состоит из опорной плиты 8 и технологического приспособления, устанавливаемого на плиту. Это приспособление на рис. 8 не показано. Опорные плиты (их собственно и называют спутниками) имеют типовую конструкцию с унифицированными размерами.

Плита устанавливается на штанги 2 транспортера, ее положение фиксируется пальцами 5. Плита 8 перемещается вместе со штангами 2. Штанги 2 катятся по опорным роликам 1.

После завершения рабочего хода штанги останавливаются, и спутник фиксируется на рабочей позиции автоматической линии фиксаторами 7 и 9, которые поднимаются с помощью штанги 3 и клинового механизма. После фиксации происходит закрепление спутника поджатием планок 6 и 10 к базовым поверхностям БП (рис. 38) стационарного технологического приспособления 4.

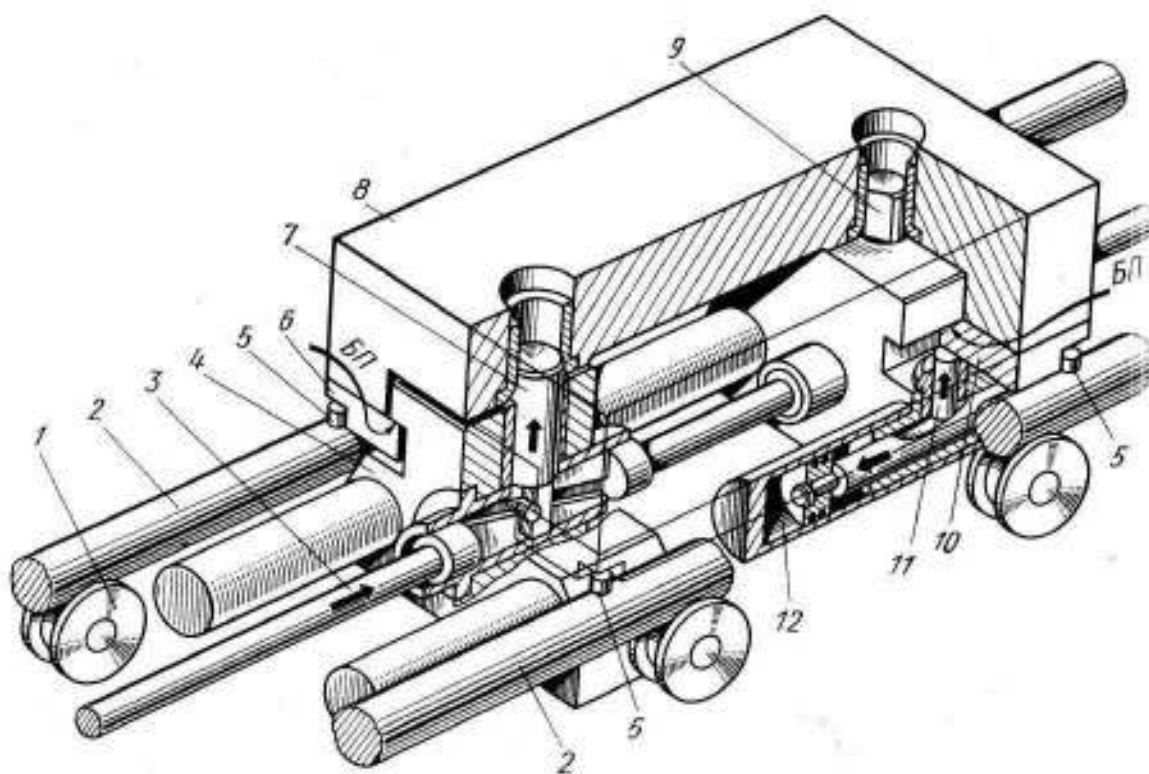


Рис. 38. Типовой транспортер спутников

Гидроцилиндры 12 с помощью толкателей 11 обеспечивают подъем спутника, необходимый для обработки детали. Во время обработки транспортирующие штанги возвращаются в исходное состояние, для этого они поворачиваются в разные стороны и пальцы

5 выходят из гнезд плиты 8 спутника. Так как плита 8 поднята над штангами, то она не мешает их свободному движению. Для всех перемещений используется гидравлический привод.

Пример автоматического цепного транспортера для перемещения колец показан на рис. 39. Основу транспортера составляет лоток 1, в котором катятся транспортируемые кольца 2. Перемещение колец осуществляется замкнутой цепью, непрерывно движущейся с помощью привода. В дне 3 лотка имеются окна, через которые происходит управляемая выдача колец в отводящие лотки III и IV на позиции обработки.

Поштучная загрузка колец на транспортер производится на позициях I и II с помощью механизмов поштучной выдачи. Такой механизм управляется коромыслом 4, которое поворачивается при прохождении под его нижним концом пальца цепи. Коромысло 4 через тягу поворачивает рычаг 10, отводя отсекатель 5, который позволяет одному кольцу скатиться в лоток.

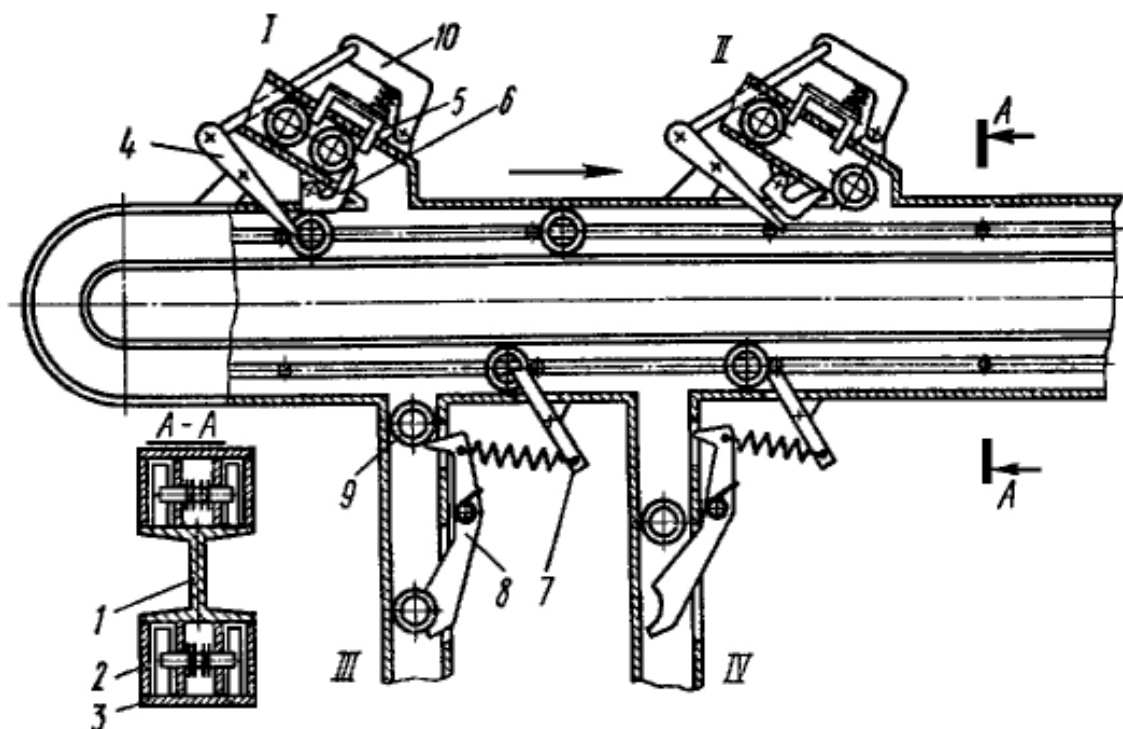


Рис. 39. Автоматический цепной транспортер

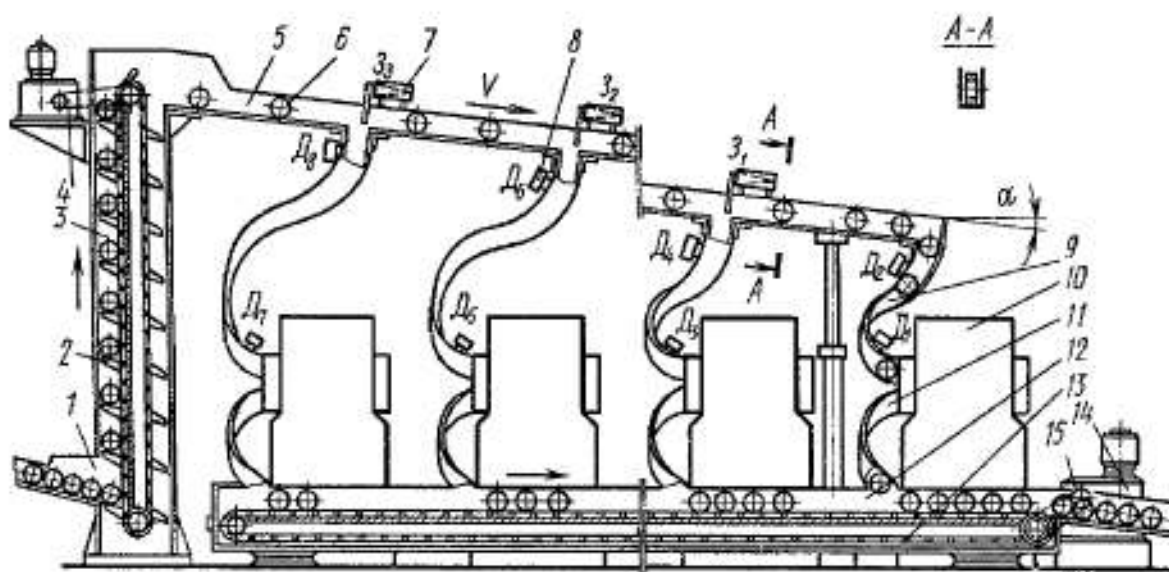
Произойдет это только в том случае, если место перед штырем цепи свободно. В противном случае, имеющееся кольцо прижмет собачку 6 и не даст загружаемому кольцу скатиться в лоток. Таким образом, в лоток кольцо может попасть только при наличии свободного места.

Выдача колец происходит в отводящие лотки, которые обычно перекрыты, запавшими в них кольцами 9. В том случае, когда в накопителе рабочей позиции появляется свободное место, отсекагель 8 поворачивается под действием коромысла 7 и дает возможность кольцу скатиться в накопитель рабочей позиции.

Транспортер позволяет обслуживать до 20 параллельно работающих технологических позиций. Работает он только с кольцами определенных размеров. Если изменится, например, ширина кольца, то необходимо изменить ширину лотка, что связано с необходимостью переналадки (если она предусмотрена конструкцией лотка). Необходима при этом и настройка других механизмов

транспортера. Таким образом, описанное транспортное устройство является специальным и эффективно в массовом производстве.

На рис. 40 показано комплексное решение задачи автоматизации транспорта автоматической линии токарной обработки тел качения. Цилиндрические заготовки укладываются в приемный лоток 1. Захватами 2 транспортера-подъемника 3 элеваторного типа заготовки поднимаются в распределительный лоток 5. Движение элеваторного подъемника обеспечивается приводом 4.



Автоматическая линия обеспечивает высокую производительность при изготовлении деталей заданной конфигурации, но не позволяет обрабатывать детали иной (даже незначительно отличающейся) конфигурации. Высокая производительность достигается за счет исключения гибкости. И хотя известны разработки автоматических линий для обработки нескольких типоразмеров детали, в целом, автоматические линии используются для массового изготовления определенной продукции (однопредметные линии).

2.5 Автоматизация технического контроля качества

2.5.1 Задачи технического контроля в автоматизированном производстве

При автоматизации технологических процессов необходимо решать задачу автоматизации технического контроля технологического процесса и его результатов. Технический контроль в промышленном производстве решает следующие основные задачи:

- поддержание необходимого уровня качества технологического процесса путем выявления разладки и расстройки процесса и проведения коррекций;
- разбраковка выпускаемых изделий по нормируемым техническим параметрам с целью предотвращения попадания брака к потребителю;
- сортировка изделий по нормируемым техническим параметрам на группы при использовании селективной сборки.

Пусть в результате осуществления технологического процесса изготавливается изделие, качество которого характеризуется некоторым параметром X (например, размер обработанной детали, твердость, процентное содержание примесей и т.д.). Изделие может характеризоваться набором параметров, тогда все сказанное ниже справедливо для каждого параметра.

Из-за отклонений режимов технологического процесса и влияния различных внешних причин параметр X подвержен случайным колебаниям. Для изделия, соответствующего установленным требованиям качества, эти колебания не должны превосходить допустимую величину

$$X_{\min} \leq X \leq X_{\max},$$

где X_{\min} , X_{\max} – границы поля допуска (нижняя и верхняя соответственно) на параметр X ; $\Delta = X_{\max} - X_{\min}$ – допуск (поле допуска) на параметр X .

Поскольку значение параметра X зависит от многих случайных величин, то для конкретного изделия значение этого параметра будет случайным. Следовательно, параметр X может рассматриваться как случайная величина.

Всю совокупность значений нормируемого параметра X изделия, обеспечиваемых в ходе технологического процесса изготовления, можно охарактеризовать статистическими параметрами:

- математическим ожиданием μ ,
- дисперсией (стандартным отклонением) $D(\sigma)$.

При отладке технологического процесса за счет проведения комплекса организационно-технических мероприятий добиваются для процесса значений μ и σ , обеспечивающих выполнение требований качества к изделию по параметру X . При дальнейшем ходе процесса необходимо выявлять изменения μ и σ и выполнять поднастройку процесса (при изменении μ) или подналадку процесса (при изменении σ).

Оптимальным является технологический процесс, налаженность и настроенность которого в процессе функционирования неизменны. С точки зрения теории вероятности такой процесс статистически устойчив. На практике это условие не соблюдается. Система

технического контроля позволяет более или менее эффективно выявлять возникающие отклонения, на основе чего возможно восстановление характеристик процесса.

Кроме того, поскольку в ходе технологического процесса неизбежно возникает некоторое количество бракованных изделий, задачей технического контроля является предотвращение поступления этого брака потребителю за счет выявления и изъятия бракованной продукции (разбраковка произведенных изделий). На технический контроль могут расходоваться значительные производственные ресурсы. При автоматизации технологических и производственных процессов неизбежно возникает задача автоматизации технического контроля.

Для решения этой задачи в массовом производстве необходимы высокопроизводительные средства. Ввиду постоянства процессов и объектов массового производства эти средства могут быть специализированными или специальными. Все средства автоматизации технического контроля качества технологических процессов можно разбить на две основные группы:

- средства для контроля непосредственно в ходе технологических операций для управления качеством процессов;
- средства для послеоперационного контроля для разбраковки и рассортировки изготовленных изделий.

Рассмотрим основные принципы, используемые для решения сформулированных выше задач на примере механообрабатывающего производства, для которого вопросы технического контроля представляют наибольшую сложность.

2.5.3 Средства для автоматического контроля в процессе обработки

При выполнении механической обработки деталей на станках необходимо обеспечить отклонение обрабатываемых размеров деталей в пределах технического допуска. Поскольку окончательная геометрия детали формируется на финишных операциях, то средства для контроля в процессе обработки созданы в первую очередь для высокоточных финишных операций (шлифование, хонингование).

На рис. 41 показаны принципиальные схемы устройств, предназначенных для контроля диаметров валов в процессе их обработки на круглошлифовальных станках. Устройство на рис. 41, а является одноточечным или одноконтakтным. Измерительный рычаг 2 прижимается к поверхности обрабатываемого вала 1 измерительной пружиной, которая на рисунке не показана. В процессе шлифования радиус вала уменьшается, и рычаг поворачивается относительно шарнира 4, установленного в корпусе прибора.

Положение рычага измеряется с помощью датчика перемещений 3, измерительный сигнал которого поступает в информационно-управляющий блок контрольного устройства. Для уменьшения погрешности прибора измерительный рычаг оснащается износостойким измерительным наконечником, контактирующим с обрабатываемым валом. Наконечник выполняется из твердых сплавов или алмазным.

Недостатком одноточечных устройств является существенная зависимость точности измерения от размерной цепи, включающей элементы конструкции станка и реагирующей на силовые и тепловые деформации станка.

При использовании устройство необходимо настраивать на окончательный размер шлифуемого вала. В тот момент, когда шлифуемый вал достигает настроенного размера, информационно-управляющий блок выдает команду системе управления станка для прекращения обработки.

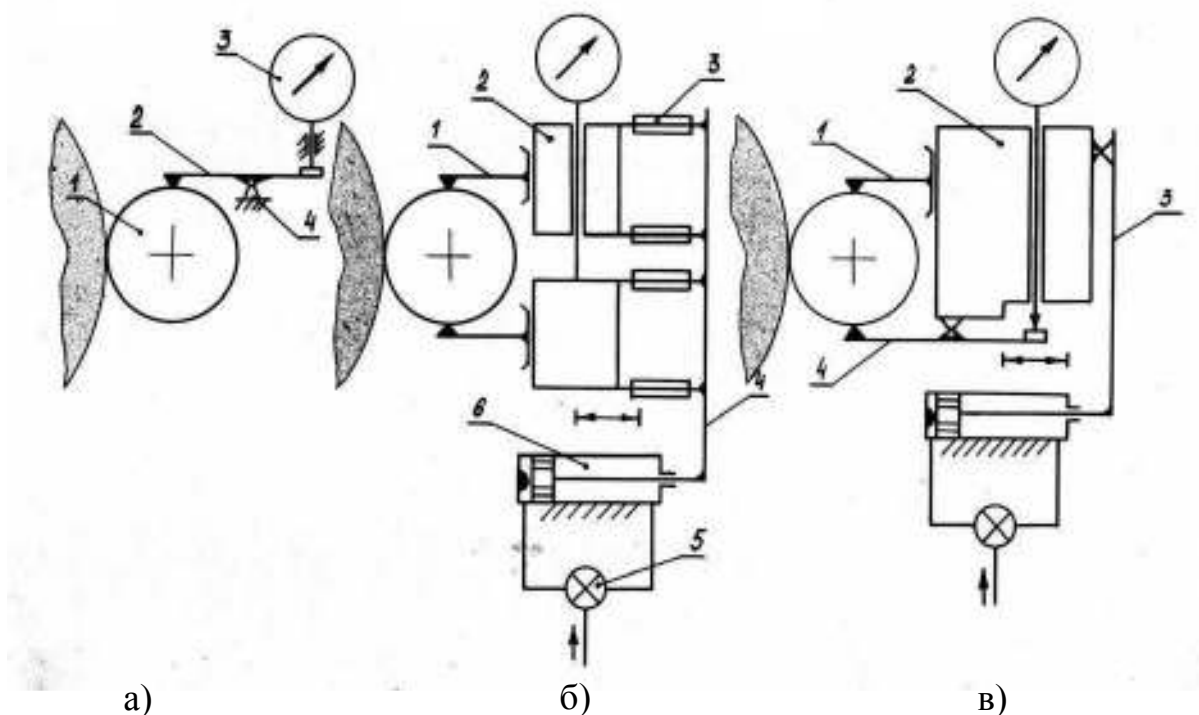


Рис. 41. Контроль валов в процессе обработки

На рис. 41, б показана схема двухточечного (двухконтактного) прибора для контроля в процессе шлифования валов. Прибор имеет два измерительных наконечника 1, которые соединены с подвижными измерительными каретками 2. Для перемещения кареток имеются направляющие 3 (выполнены в виде пружинного параллелограмма). В верхней каретке установлен датчик перемещений, который измеряет взаимное положение кареток.

Корпус измерительного устройства соединен с устройством подвода-отвода 6, основу которого составляет гидравлический цилиндр, управляемый распределителем 5. Устройство может настраиваться на контроль валов разных диаметров. Для этого измерительные наконечники 1 перемещаются относительно кареток 2 и фиксируются в нужном положении.

Двухточечное устройство в меньшей степени реагирует на тепловые и силовые деформации элементов станка и точность его выше по сравнению с одноточечным устройством. Подобные

устройства получили широкое распространение для автоматизации контроля и управления шлифованием.

На рис. 41, в представлен вариант конструктивного выполнения двухточечного прибора для контроля в процессе шлифования. Его характеристики совпадают с характеристиками предыдущего прибора.

Рассмотренные схемы являются примерами и не исчерпывают всего многообразия конструктивных схем приборов для контроля валов в процессе обработки. Подобные приборы разработаны и для других видов финишной обработки.

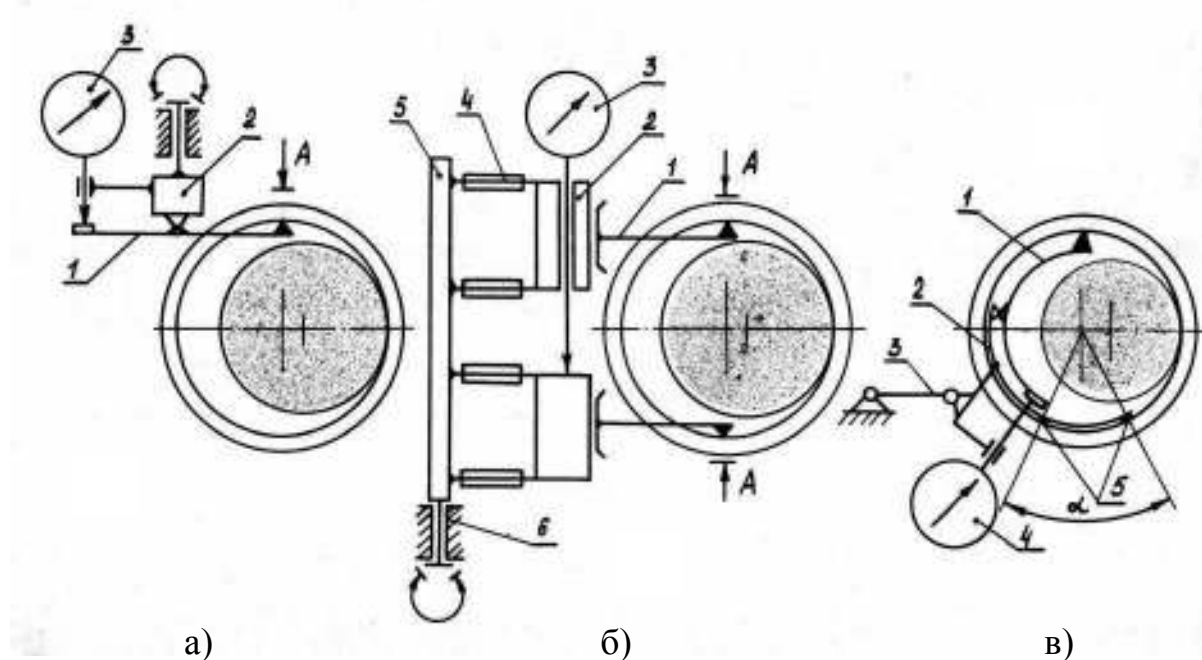


Рис. 42. Контроль отверстий в процессе обработки

На рис. 42 показаны конструктивные схемы приборов для контроля в процессе шлифования отверстий. Особенностью процессов обработки отверстий (внутреннее шлифование и хонингование) является сложность доступа к контролируемой поверхности из-за размещения внутри отверстия обрабатывающего инструмента (шлифовального круга или хона). В связи с этим предпочтение отдается таким измерительным схемам, при которых чувствительные элементы контрольного устройства,

воспринимающие контролируемый размер, занимают минимальный объем.

Наиболее проста одноточечная схема измерения (рис. 42, а). Измерительный рычаг 1 вводит измерительный наконечник в обрабатываемое отверстие. Пружиной наконечник прижимается к обрабатываемой поверхности. Второй конец измерительного рычага 1 воздействует на датчик перемещений 3, создающий измерительный сигнал для информационно-управляющего блока прибора.

Ввод измерительного наконечника в отверстие в начале обработки и вывод его из отверстия в конце обработки производится поворотом корпуса 2 устройства вокруг вертикальной оси.

Измерительные устройства, построенные по двухточечной измерительной схеме (рис. 42, б), требуют большего свободного пространства, однако, как было сказано выше, погрешность измерения при этом существенно снижается. Измерительные рычаги 1 соединены с каретками 2, которые имеют пружинные направляющие 4 для перемещения относительно корпуса 5.

С верхней кареткой соединен датчик перемещений 3. Подвод устройства в рабочее положение в начале обработки и отвод в нерабочее положение в конце производится поворотом корпуса вокруг оси 6.

Поскольку пространство внутри отверстия мало, то измерительные наконечники обычно имеют малую жесткость и их длину приходится ограничивать. Последнее обстоятельство не дает возможности контролировать отверстие на значительном расстоянии от наружного торца.

Известны устройства, построенные по трехточечной измерительной схеме и свободные от указанного недостатка (рис. 42, в). Измерительный рычаг 1 с помощью шарнира крепится к корпусу 5 устройства. Последний вводится внутрь отверстия и

This technical drawing shows a cross-section of a mechanical assembly, possibly a pump or a valve. The drawing includes the following numbered components and dimensions:

- Numbered Components:**
 - 1: A large, curved, spring-loaded component on the left.
 - 2: A small component at the top left.
 - 3: A small component at the top center.
 - 4: A large, cylindrical component at the top center.
 - 5: A small component at the top right.
 - 6: A small component at the top right.
 - 7: A small component at the top right.
 - 8: A large, curved component on the right side.
 - 9: A small component at the bottom right.
 - 10: A small component at the bottom right.
 - 11: A large, rectangular component at the bottom center.
 - 12: A small component at the bottom center.
 - 13: A small component at the bottom center.
 - 14: A small component at the bottom left.
- Dimensions:**
 - A:** The overall width of the device.
 - B:** The width of the right-hand section.
 - E:** The overall length of the device.
 - D:** The diameter of the large curved component on the right.

С корпусом 5 соединен датчик перемещений 3, измеряющий положение рычага 1 относительно корпуса 5, которое пропорционально контролируемому изменению диаметра отверстия. Поскольку описанное устройство базируется по контролируемой поверхности, то оно может применяться для контроля глубоких отверстий.

Рассмотренные выше схемы реализуются в различных серийных приборах для контроля в процессе обработки деталей. Для контроля валов часто используется двухточечная схема. Приборы, построенные по этой схеме, часто называют двухконтактными скобами. Конструкция двухточечной настольной индуктивной скобы показана на рис. 43. Измерительные кронштейны 9 несут твердосплавные

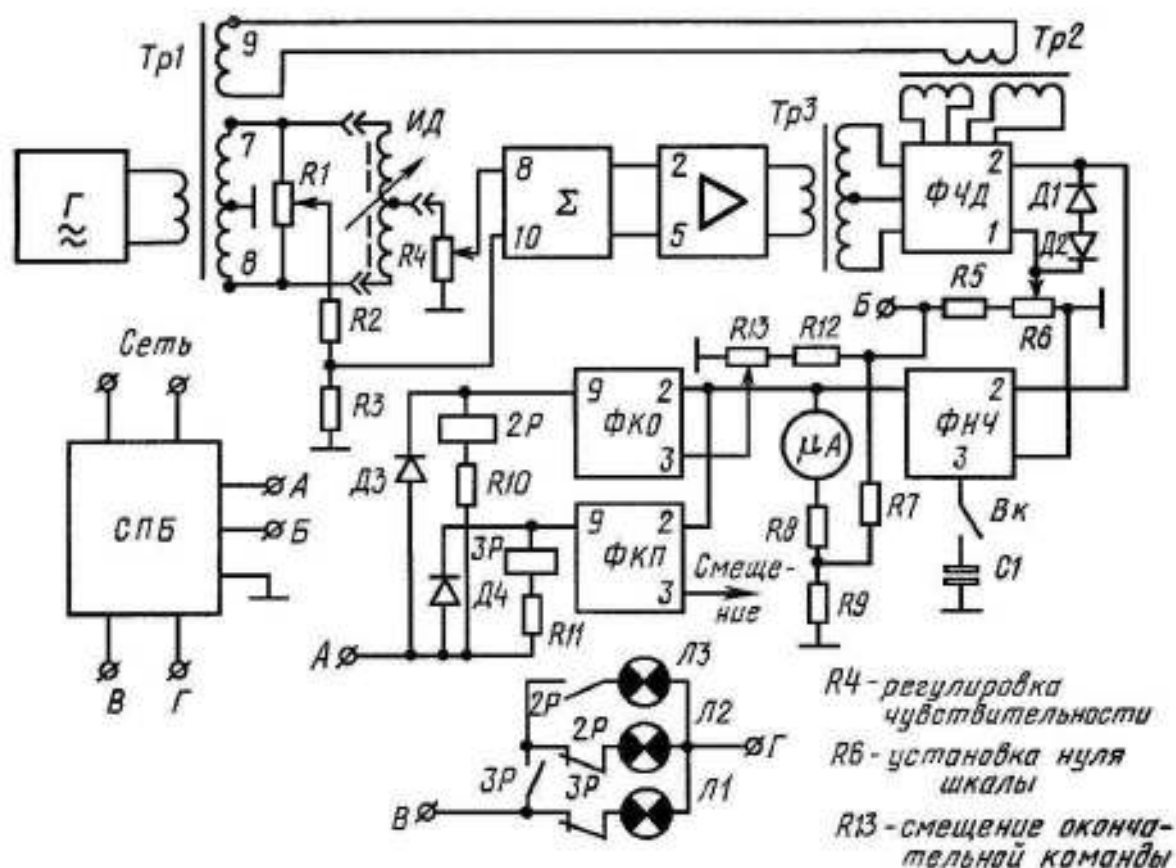
цилиндрические сменные наконечники 8 и с помощью направляющих и винтов 10 крепятся к измерительным кареткам 12 и 1. Имеются ограничители хода кареток 14. Измерительные усилия кареток создаются с помощью пружин и могут регулироваться эксцентриками 13, изменяющими натяжение пружин.

Нижняя каретка 12 несет индуктивный датчик перемещений 11, измерительный стержень которого упирается в торец настроечного винта 5, соединенного с верхней измерительной кареткой 1. Выбор зазора в резьбе настроечного винта производится с помощью пружины 2 и серьги 3. Ход настроечного винта ограничивается ограничителем 4. Зубчатый валик 6 предназначен для перемещения кронштейнов по направляющим в процессе настройки скобы. Резиновый кожух 7 защищает внутреннюю полость скобы от попадания грязи и жидкости. Скоба крепится винтами к гидравлическому подводному устройству, устанавливаемому на столе станка. Индуктивный датчик скобы при помощи кабеля с разъемом подключается к отсчетно-командному блоку.

На рис. 44 изображена функциональная схема электронной части прибора. Мостовая измерительная схема, в которую включен индуктивный датчик ИД, питается от электронного генератора с частотой 9–14 кГц через трансформатор Tr1. Выходной сигнал мостовой схемы и сигнал цепочки смещения нуля R2, R2, R3 поступают на сумматор. Алгебраическая сумма сигналов усиливается и выпрямляется фазочувствительным детектором ФЧД. Для предохранения последующих элементов от перегрузки на выходе ФЧД включены диоды Д1 и Д2.

Выпрямленное измерительное напряжение поступает на фильтр низкой частоты ФНЧ. В обычном режиме фильтр работает как усилитель сигнала. При контроле деталей с разрывами измерительной поверхности постоянная времени фильтра увеличивается включением конденсатора С1 выключателем Вк. При этом

обеспечивается фильтрация колебаний измерительного сигнала, вызванных разрывами контролируемой поверхности, и высокая точность измерения.



При подаче предварительной команды уменьшается подача шлифовального станка для обеспечения чистовой обработки. При подаче окончательной команды обработка детали прекращается.

Подача окончательной команды должна соответствовать достижению заданного значения диаметра шлифуемого вала.

Момент подачи команд может настраиваться в зависимости от условий обработки, для чего предусмотрены органы настройки. Кроме того, предусмотрена регулировка чувствительности (цены деления) прибора и нуля его шкалы. Все элементы прибора питаются от стабилизированного блока СПБ. Режим работы прибора индицируется сигнальными лампами Л1, Л2, Л3. Электронная часть прибора имеет блочный печатный монтаж, что повышает его надежность и облегчает ремонт. Принятые в приборе конструктивные и схемные решения достаточно типичны для многих отечественных и зарубежных устройств аналогичного назначения.

Для установки двухконтактных измерительных скоб приборов автоматического контроля на автоматических или полуавтоматических кругло-шлифовальных станках предназначено гидравлическое подводящее устройство. Применение такого устройства позволяет автоматизировать подвод скобы для измерения шлифуемой детали и осуществить возврат скобы в исходное положение с целью освобождения рабочей зоны при удалении обработанной детали и установке в центре станка очередной заготовки.

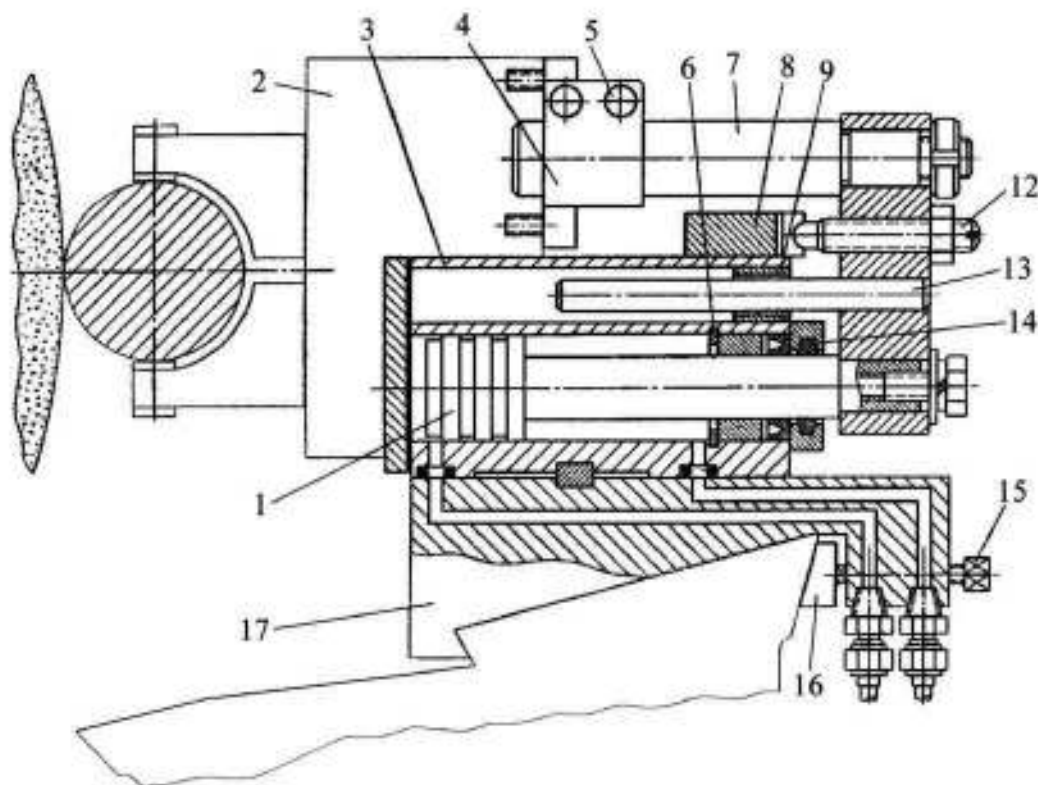


Рис. 45. Установка двухточечной скобы на станке

Пример конструкции подводящего устройства показан на рис. 45. Корпус скобы 2 крепится винтами к кронштейну 4 подводящего устройства. Кронштейн 4 винтами 5 закреплен на скалке 7, которая с помощью планки соединена с поршнем 1 гидравлического цилиндра 3. Гидроцилиндр 3 установлен на основании 17, которое закрепляется на столе шлифовального станка.

При перемещении скобы направляющий стержень 13, пропущенный с небольшим зазором через втулку 9, предотвращает конструкцию от поворота вокруг оси поршня. Рабочий ход в направлении контролируемой детали ограничивается призмой 8 и нерегулируемым упором 12, надежное прижатие сферического торца которого к граням призмы обеспечивает точную и стабильную фиксацию скобы на измерительной позиции.

Управление подводом и отводом скобы производится от цикловой системы управления процессом шлифования в соответствии с фазами автоматического цикла шлифования.

В исходном положении шлифовальной бабки масло из напорной магистрали гидросистемы станка нагнетается в левую полость гидроцилиндра 3, а из противоположной полости направляется на слив. Благодаря этому, поршень 1 перемещается вправо и прижимается к пружинному кольцу 6, ограничивающему его перемещение, а измерительная скоба 2 удерживается в исходном положении.

На первой фазе автоматического цикла осуществляется ускоренный подвод шлифовальной бабки к обрабатываемой детали. По окончании подвода происходит реверсирование потоков рабочей жидкости, и правая полость гидроцилиндра сообщается с напорной магистралью, а левая – со сливной. Благодаря этому, поршень 1 со скобой 2 плавно движется в сторону обрабатываемой заготовки, и скоба занимает рабочее положение для контроля диаметра шлифуемого вала.

Команда на отвод шлифовальной бабки и измерительной скобы в исходное положение формируется информационно-управляющим блоком прибора автоматического контроля в момент достижения заданного размера детали. Давление из напорной магистрали подается в левую полость гидроцилиндра и обеспечивается слив масла из противоположной полости. В результате измерительная скоба возвращается в исходное положение.

Приборы для контроля в процессе обработки разнообразны и разработаны для многих финишных операций механической обработки. Разработкой и производством таких приборов занимаются многочисленные специализированные фирмы и организации.

2.5.3 Автоматизированные приборы и контрольные автоматы

Для послеоперационного контроля изготовленных изделий, их разбраковки и сортировки в автоматизированном производстве используются автоматизированные и автоматические контрольные

средства. Автоматизированные средства в большинстве случаев выполняются в виде многомерных приборов с встроенной логикой для обработки измерительной информации, поступающей от датчиков прибора, что позволяет существенно повысить производительность контрольных операций и их объективность.

Максимальную производительность контрольных операций позволяют обеспечить контрольные автоматы. Такие автоматы могут использоваться как для простой разбраковки (удаление бракованных изделий из поставки потребителю) изделий, так и для их сортировки на группы по некоторому контролируемому параметру.

Автоматы проектируются под определенный объект контроля, параметры которого могут варьироваться в ограниченных пределах. Многообразие объектов контроля порождает и многообразие конструкций контрольно-сортировочных автоматов. При реализации автоматов используются различные подходы и конструктивные схемы, выбор которых зависит от целого ряда условий как связанных с технологическим процессом, так и от него не зависящих.

Рассмотрим примеры построения контрольных автоматов для контроля деталей в технологических процессах механической обработки. На рис. 46 показана принципиальная схема построения контрольного автомата для разбраковки цилиндрических роликов по длине, использующегося в подшипниковой промышленности в автоматических линиях по производству подшипников качения.

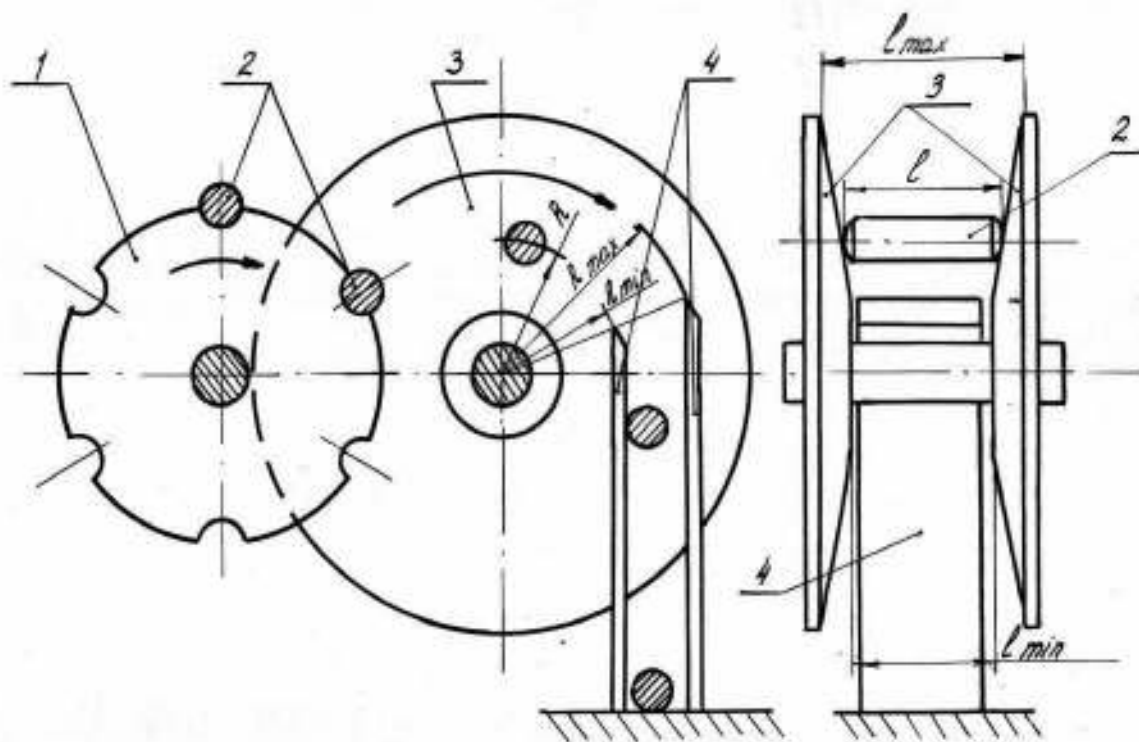


Рис. 46. Измерительная часть автомата для контроля длины роликов

В выемки транспортирующего диска 1 загружаются контролируемые ролики 2. При вращении транспортирующего диска ролики переносятся в измерительное пространство клиновидного калибра 3, образованного боковыми поверхностями двух конических дисков. В том месте, где расстояние между дисками равно длине l контролируемого ролика 2, последний застревает и начинает двигаться вместе с калибром, имеющим более высокую скорость вращения, чем транспортирующий диск. Радиус R застревания ролика однозначно зависит от его длины l . Застревшие ролики снимаются ножами 4. Нож снимает только те детали, длина которых больше расстояния между стенками калибра в месте установки ножа. В зависимости от числа съемных ножей меняется число сортировочных групп.

Описанный датчик применяется для сортировки роликов длиной 10–25 мм, диаметром до 3 мм на группы с допуском 0,2 мм. Производительность контроля достигает до 10000 шт/час. Автомат

прост по конструкции, однако возможности его существенно ограничены.

Наиболее общим принципом построения контрольно-сортировочных автоматов является использование в их составе измерительной позиции, снабженной датчиками контролируемых параметров объекта. Измерительные сигналы от этих датчиков обрабатываются логическим устройством информационно-управляющего блока автомата, в результате чего контролируемое изделие относится к той или иной группе. Исполнительный механизм автомата направляет прошедшее контроль изделие в соответствующую группу.

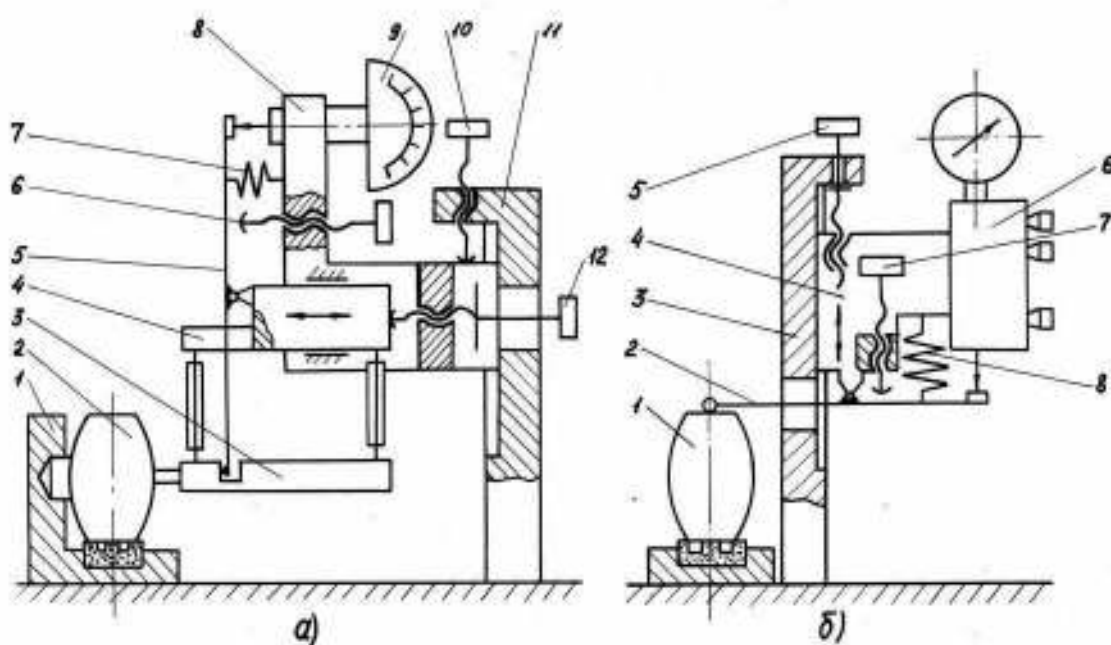


Рис. 47. Измерительные позиции контрольного автомата

Пример построения измерительных позиций автомата для контроля размеров деталей показан на рис. 47. Измерительная позиция на рис. 47, а предназначена для контроля и сортировки бочкообразных роликов по диаметру на 48 размерных групп. Позиция на рис. 47, б обеспечивает контроль ролика по длине. Пределы измерения диаметров и высоты роликов 5–10 мм.

При контроле диаметра (рис. 47, а) ролик 2 базируется на столике 1 по нижнему торцу и образующей. Изменение диаметра ролика воспринимается измерительным стержнем 3, подвешенным на пружинных направляющих к каретке 4. Перемещения измерительного стержня с помощью рычага 5 передаются на фотоэлектрический датчик 9, закрепленный на второй каретке 8. Измерительное усилие обеспечивает пружина 7.

Ход измерительного стержня ограничивается регулируемым упором 6. Настройка измерительной головки по диаметру производится перемещением каретки 4 относительно каретки 8 в горизонтальном направлении при помощи микрометрической пары 12. Для установки измерительного наконечника по высоте можно перемещать всю каретку 8 относительно неподвижного кронштейна 11 с помощью микрометрической пары 10. Таким образом, используя эту пару можно установить необходимое контролируемое сечение по высоте ролика, а с помощью микрометрической пары 12 – произвести согласование диапазона измерения и настроечных границ датчика 9 с диапазоном изменения диаметров контролируемых роликов.

В измерительной головке для контроля высоты (рис. 47, б) ролик 1 базируется нижним основанием на столик. Изменение высоты ролика воспринимается измерительным рычагом 2 и передается на электроконтактный датчик 6. Измерительное усилие создается пружиной 8. Перемещения рычага ограничены регулируемым упором 7. Для настройки измерительной головки каретка 4, несущая измерительный рычаг и электроконтактный датчик, сделана подвижной относительно кронштейна 3. Настроечные перемещения каретки создаются микрометрической парой 5.

В качестве примера автомата, построенного с использованием описанного принципа, рассмотрим автомат для сортировки игольчатых роликов диаметром 1,6–3 мм и длиной 8–30 мм на три

группы по длине (плюсовая, минусовая и годная) и на 12 групп по диаметру (плюсовая, минусовая и десять годных).

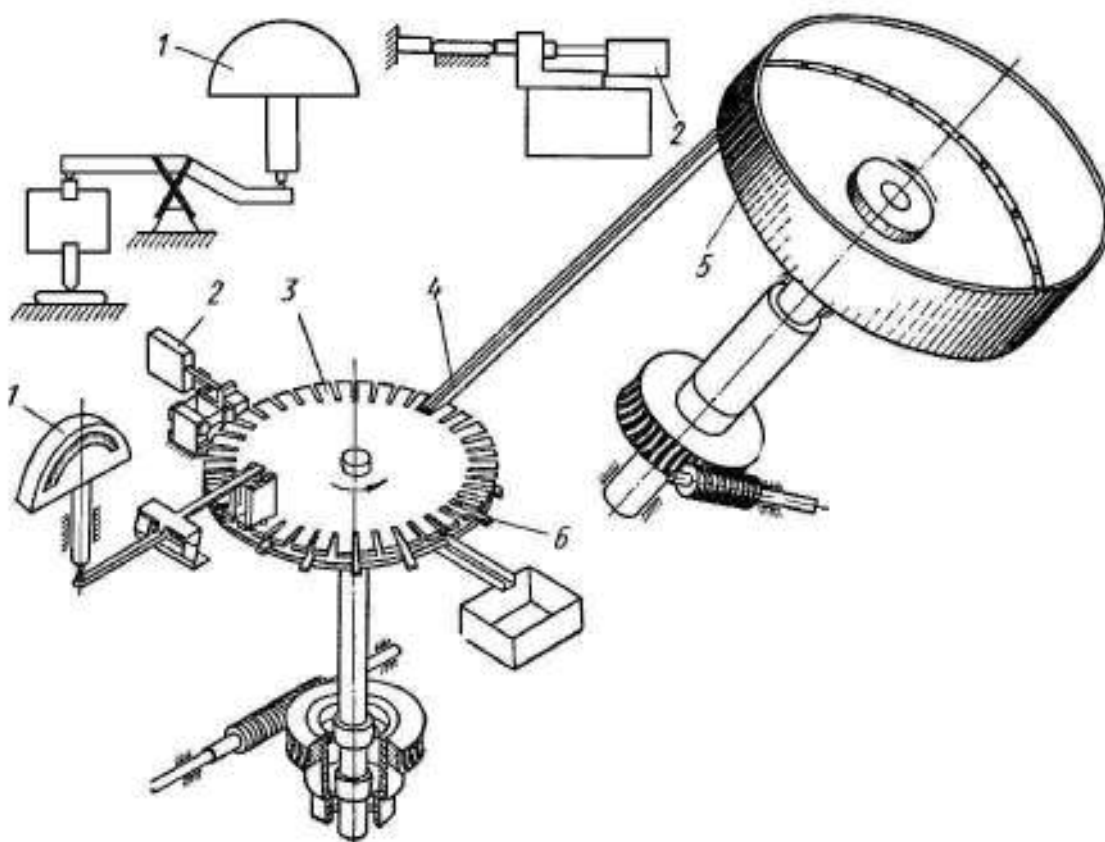


Рис. 48. Автомат для сортировки роликов

Конструктивная схема автомата приведена на рис. 48. Засыпанные в бункер 5 ролики, с помощью непрерывно вращающегося диска, подаются в приемник 4. При совпадении паза транспортирующего диска 3 с окном приемника очередной ролик западает в него и перемещается на позицию измерения длины. Измерение длины производится с помощью электроконтактного датчика 2. В случае брака открывается заслонка сортировочного устройства, и ролик проваливается в один из отсеков брака по длине. Годные ролики транспортируются далее на позицию измерения диаметра.

Контроль роликов по диаметру производится с помощью фотоэлектрического датчика 1. Датчик контролирует отклонение

диаметра ролика, сравнивает результат с предельными размерами сортировочных групп и выдает сигнал, идентифицирующий принадлежность ролика к определенной размерной группе.

Результаты измерения в виде сигнала магнитной головкой записываются на магнитной ленте, укрепленной на диске, который вращается синхронно с транспортирующим диском. Сигналы считываются воспроизводящими головками, включенными на входы усилителей, соответствующих определенной сортировочной группе.

На выходе каждого усилителя включен электромагнит сортировочного устройства, который срабатывает только в том случае, когда записанный на магнитную ленту сигнал будет проходить перед воспроизводящей головкой. Электромагниты открывают заслонки 6 в тот момент, когда над ними проходит ролик соответствующей группы.

Электромагнит при срабатывании открывает заслонку и ролик проваливается по лотку в соответствующий отсек. За последней воспроизводящей головкой расположена стирающая головка, которая удаляет записанные сигналы. Захват, измерение и сортировка роликов производятся на ходу при непрерывном вращении транспортирующего диска.

Автомат обеспечивает сортировку роликов по диаметру с погрешностью 0,5 мкм при производительности 10000 роликов в час. Такая высокая производительность характерна для массового производства.

С использованием аналогичных принципов строятся автоматы для контроля изготовленных изделий по другим нормируемым параметрам. Например, известны автоматы для контроля твердости термообработанных деталей, автоматы для контроля дефектов поверхности и структуры изделия и др.

Жесткая автоматизации эффективна в массовом производстве, доля которого по современным оценкам составляет, как отмечалось ранее,

например, для машиностроения 15–20 % от общего объема производства. В то же время, при выпуске специальных и специализированных средств жесткой автоматизации в условиях гибких автоматизированных производств, сроки их поставки и стоимость уменьшаются, что расширяет возможности применения таких средств.

3 ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ: ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОДУЛИ, ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ, ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Гибкое автоматизированное производство и гибкие производственные системы

Гибкая автоматизация эффективна для серийного многономенклатурного производства. По мере совершенствования гибких автоматизированных производств снижается планка требований к объему партии выпуска продукции. В перспективе такие производства могут быть эффективными и для индивидуального производства продукции.

При комплексной автоматизации производственных процессов возникает необходимость автоматизации физических, управленческих, информационных и творческих функций человека в производстве. Для этой цели используются различные автоматизированные системы:

ГПС – гибкая производственная система для автоматизации технологических процессов;

САПР – система автоматизации проектирования;

АСНИ – автоматизированная система научных исследований;

АСТПП – автоматизированная система технической подготовки производства;

АСУП – автоматизированная система управления производством;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом.

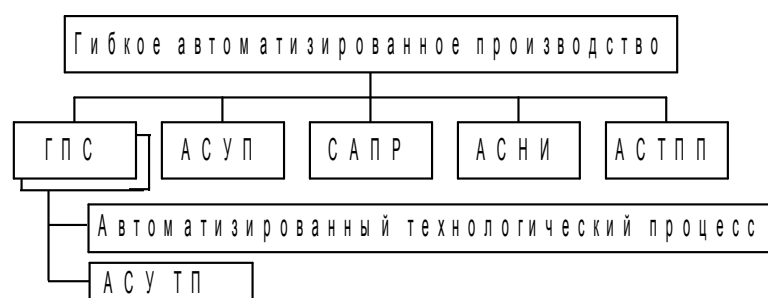


Рис. 49. Состав ГАП

Комплексное применение этих систем предполагает автоматизацию обмена информацией между ними за счет использования единых баз данных и

реализацию принципов безбумажной технологии. Все эти системы широко используют средства вычислительной техники для автоматизации обработки информации и управления различного уровня.

Комплексно автоматизированное производство (рис. 49), основанное на принципах гибкой автоматизации, называют гибким автоматизированным производством (ГАП), а в будущем это производство может превратиться в полностью автоматическое производство. В зарубежной технической литературе такое производство часто называют интегрированным производством, поскольку в нем осуществляется интеграция различных высокоавтоматизированных производственных систем.

Экономическая эффективность гибкого автоматизированного производства может быть оценена годовым экономическим эффектом от внедрения ГАП

$$\Xi = (C_1 - C_2)N - E_m(K_2 - K_1) + C_3 \Delta r_p,$$

где N - объем годового выпуска продукции; C_1, C_2 – сумма затрат на оплату труда производственных и вспомогательных рабочих, ИТР и

обслуживающего персонала; на наладку оборудования; на амортизацию и текущий ремонт оборудования; на износ инструмента и приспособлений; на энергию; на освоение производства и потери от брака; K_1, K_2 – единовременные затраты до и после внедрения ГАП, учитывающие затраты на оборудование, систему управления, автоматизированную транспортно-накопительную систему, систему инструментального обеспечения, технологическую оснастку, производственные и вспомогательные площади и прочие единовременные затраты; $C_э$ – социальный эффект на одного высвобождаемого работника; Δr_p – число высвобождаемых работников

$$\Delta r_p = \frac{(T_1 - T_2)N}{\Phi_p},$$

T_1, T_2 – трудоемкость комплекта продукции до и после внедрения ГАП соответственно; Φ_p – годовой фонд времени одного рабочего.

Повышение производительности труда

$$\Delta\Pi_T = \frac{\Delta T_{пр} 100\%}{100 - \Delta T_{пр}}, \quad \Delta T_{пр} = \frac{(T_1 - T_2) 100\%}{T_1}.$$

Технологическую основу гибкого автоматизированного производства составляют гибкие автоматизированные производственные системы. Основные понятия, связанные с такими системами стандартизированы.

ГПС – совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

Определение ГПС отражает ее свойство гибкости, позволяющее производить изделия произвольной номенклатуры. По принципу

организации ГПС делятся на: гибкие автоматизированные линии (ГАЛ); гибкие автоматизированные участки (ГАУ) и гибкие автоматизированные цехи (ГАЦ). Гибкие автоматизированные линии строятся на основе технологического маршрута изготавливаемой продукции. Гибкие автоматические участки обычно создаются на основе единства обрабатывающего оборудования.

Для сравнения гибкости разных вариантов ГПС можно использовать индекс гибкости

$$U_r = \frac{Mk}{100n},$$

где М – номенклатура изготавливаемых изделий, k – доля впервые изготавливаемых изделий (коэффициент обновления), n – средний объем изготавливаемой партии.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) – единица технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик с программным управлением, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая все функции, связанные с изготовлением продукции, имеющая возможность встраивания в гибкую производственную систему.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) – совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы.

Если определение ГПМ предполагает его гибкость, то определение РТК не связано непосредственно с понятием гибкости и предполагает автоматическое многократное повторение определенного рабочего цикла.

Системы обеспечения функционирования ГПС – совокупность в общем случае взаимосвязанных систем, обеспечивающих проектирование изделий, технологическую подготовку их

производства, управление гибкой производственной системой при помощи ЭВМ и автоматическое перемещение предметов производства и технологической оснастки.

В составе ГПС можно выделить следующие автоматизированные системы:

- автоматизированная транспортно-накопительная система (АТНС), которую, в свою очередь, можно разделить на автоматизированную складскую систему (АСС) и автоматизированную транспортную систему (АТС);

- автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО);

- система автоматизированного контроля (САК);

- автоматизированная система удаления отходов (АСУО);

- автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ГПС).

Обобщенная компоновка ГПС приведена на рис. 50. В составе ГПС можно выделить гибкие производственные модули ГПМ, автоматизированную складскую систему АСС (автоматизированный склад), автоматизированную транспортную систему АТС и автоматизированную систему управления АСУ ГПС. При небольших масштабах ГПС АСС и АТС могут рассматриваться в виде единой транспортно-накопительной системы АТНС.

Гибкие модули ГПМ реализуют основные и вспомогательные операции технологического процесса и могут иметь разное назначение: выполнение механической обработки; термическая обработка; окраска и гальванические покрытия; сборка; технический контроль изделий и другие технологические операции. На уровне модулей могут использоваться роботизированные технологические комплексы РТК, оборудование с ЧПУ и отдельные единицы другого автоматического технологического оборудования.

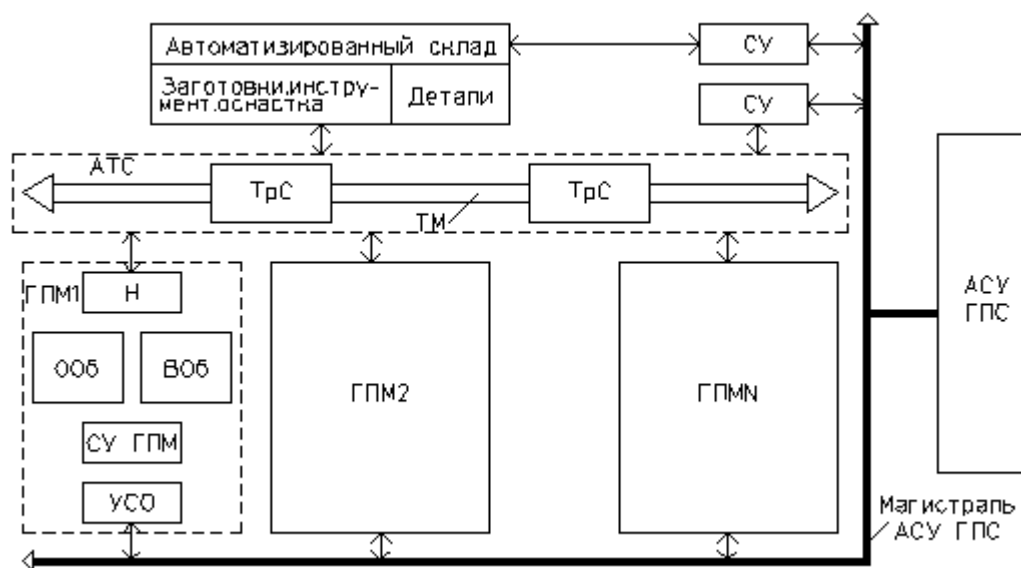


Рис. 50. Обобщенная компоновка ГПС

В составе ГПМ можно выделить основное оборудование ООБ (станок, технологическая установка и др.) и вспомогательное оборудование ВООБ. ООБ служит для выполнения основных технологических операций для данного ГПМ, а ВООБ обеспечивает автоматическое функционирование основного оборудования путем автоматизации, например, загрузки-разгрузки основного оборудования.

В качестве вспомогательного оборудования модулей могут использоваться промышленные роботы (ПР), автоматические манипуляторы, приемно-передающие столы и т.д. Оборудование ГПМ управляется от локальной системы автоматического управления СУ ГПМ, которая обеспечивает автоматическое выполнение требуемого рабочего цикла оборудования.

Автоматизированный склад обеспечивает накопление и хранения заготовок, полуфабрикатов, готовых изделий, инструмента, технологической оснастки и других предметов и материалов, необходимых для осуществления техпроцесса. Вместо одного склада в больших системах могут использоваться несколько складов и промежуточных накопителей. В этом случае уместно говорить об

автоматизированной складской системе (АСС). Как правило, автоматизированный склад имеет локальную систему управления.

Автоматизированная транспортная система АТС обеспечивает материальные потоки внутри ГПС и в ее составе можно выделить транспортные средства ТрС, транспортную магистраль ТМ и локальную систему управления СУ. Конфигурация материальных потоков определяется транспортной магистралью ТМ, которая может иметь физическую реализацию в виде конвейеров, рельсовых путей и др., или реализовываться в виде логической организации маршрутов гибких автоматизированных транспортных средств.

АТС обеспечивает решение задач межоперационного транспорта, внутри участкового транспорта или внутрицехового транспорта. Взаимодействие АТС с ГПМ осуществляется через локальные накопители Н модулей. Наличие таких накопителей делает возможным режим асинхронной работы ГПМ и АТС, что дает определенные преимущества.

Общее управление в ГПС осуществляет АСУ ГПС, которая является двухуровневой иерархической системой (может быть и большее число уровней). Нижний уровень иерархии образуют локальные системы управления СУ конкретным оборудованием, обеспечивающие управление рабочим циклом этого оборудования. Верхний уровень АСУ ГПС осуществляет управление производственным циклом ГПС в целом.

Обмен информацией между локальными СУ и верхним уровнем в процессе управления производится с использованием информационной магистрали АСУ ГПС, которая может иметь разную реализацию. Соединение локальных СУ с магистралью АСУ ГПС производится с использованием устройств сопряжения с объектом УСО.

В рамках рассмотренной структуры реализуются названные выше функциональные автоматизированные системы ГПС: АТНС, АСИО,

САК, АСУО, АСУ ГПС. Состав реализованных в конкретной ГПС функциональных автоматизированных систем и объем реализации каждой системы определяют уровень автоматизации ГПС в целом и ее гибкость.

ГПС используются в различных производствах. При этом их состав соответствует описанному, а отличаются они типом технологических процессов и используемым технологическим оборудованием. Так, например, гибкие системы химического производства реализуют химико-технологические процессы.

Гибкая автоматизированная производственная система химического предприятия – интегрированная система, состоящая из гибких химико-технологических подсистем, гибких подсистем транспорта и гибких подсистем складов, связанных материальными, энергетическими и информационными потоками, и функционирующая в режиме реального времени под управлением ЭВМ.

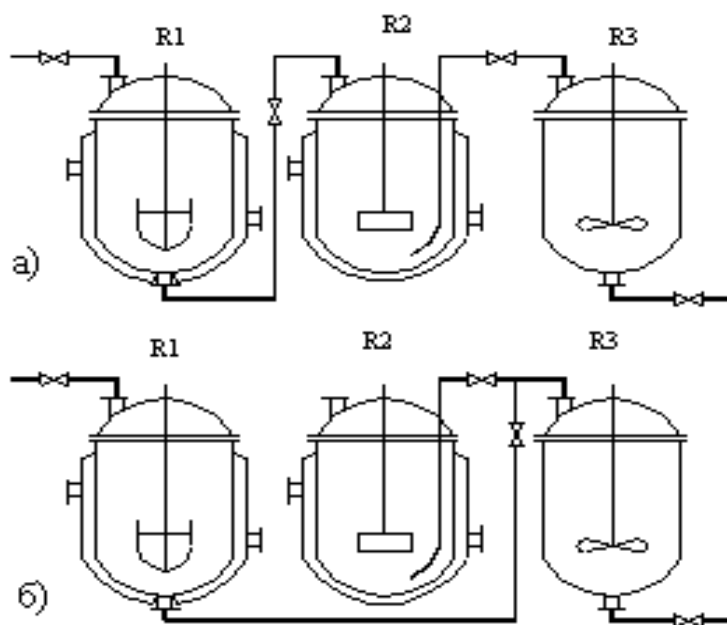


Рис. 51. Перестраиваемая структура ХТС

Существенной особенностью гибких химико-технологических систем (ХТС) является непостоянство ассортимента производимой продукции, что является причиной изменения их аппаратного состава, конструкций аппаратов,

технологических операций и их порядка. Это влечет за собой

изменение значений режимных параметров, технологической и организационной структуры.

На рис. 51 показан пример гибкой ХТС с перестраиваемой структурой. Эта система состоит из трех технологических аппаратов R1, R2 и R3 периодического действия. В системе производятся два продукта П1 и П2.

При производстве продукта П1 используется система последовательной структуры (рис. 51, а), а при производстве продукта П2 – параллельно-последовательная структура (рис. 51, б). Перестройка структуры должна производиться в автоматизированном режиме под управлением АСУ ТП.

Непосредственное управление технологическим процессом ХТС осуществляет АСУ ТП. Эта система решает ряд задач управления, которые образуют свою иерархию. Нижний уровень АСУ ТП представлен подсистемами информационного контроля и автоматического регулирования режимных параметров технологических процессов.

Второй уровень управления образуют задачи управления сменой функциональных состояний технологических аппаратов периодического действия (задача циклового управления). Верхний уровень задач АСУ ТП представляют задачи управления взаимодействием технологических аппаратов и материальными потоками (например, транспортированием реакционной массы из одних аппаратов в другие).

3.2. Общие принципы проектирования ГПС

Создание и внедрение ГПС требует больших материальных и временных затрат. Естественно стремление сократить эти затраты и получить скорейший экономический эффект от внедрения ГПС. Практика проектирования выработала определенные принципы,

соблюдение которых способствует повышению эффективности проекта.

Модульность построения ГПС. ГПС различного назначения эффективно создавать из ограниченного, функционально полного набора типовых унифицированных модулей различного назначения. Агрегатно-модульные структуры с использованием взаимозаменяемых модулей повышает гибкость системы.

Системная совместимость основных компонентов ГПС. Соблюдение этого принципа упрощает проблему объединения компонентов ГПС в единую согласованную систему. Для ГПС важно обеспечить следующие виды совместимости:

а) Технологическая совместимость. Обеспечивает технологическое единство и взаимозаменяемость компонентов автоматизированного производства. Основой для обеспечения технологической совместимости является групповая технология.

б) Информационная совместимость. Обеспечивает взаимодействие компонентов ГПС при обмене информацией и заключается в стандартизации входных и выходных сигналов, использовании стандартных интерфейсов и протоколов обмена информацией.

в) Конструктивная совместимость. Заключается в согласовании: геометрических параметров, установочных и присоединительных элементов, эстетических и эргономических характеристик компонентов.

г) Эксплуатационная совместимость. Заключается в согласовании характеристик, определяющих условия эксплуатации компонентов и показателей их надежности.

д) Энергетическая совместимость. Выражается в обеспечении согласованности и минимизации видов энергии, потребляемой компонентами.

Совместимость ГПС с другими автоматизированными производственными системами обеспечивается предусмотренным

взаимодействием ГПС с системами АСУП, САПР, АСТПП и достигается в значительной степени за счет использования единых баз данных. Соблюдение принципа обеспечивает возможность интеграции различных автоматизированных систем. Так получили распространение системы CAD/CAM (САПР/АСУ ТП), обеспечивающие единство процессов проектирования и изготовления продукции.

Распределенно-централизованное управление и обработка информации. Предполагает использование иерархических систем для управления и обработки информации, в которой задачи распределены по уровням и решаются разными средствами управления, связанными в единую систему. Реализация этого принципа возможна путем использования средств вычислительной техники на всех уровнях управления.

Адаптация ГПС к изменениям в производственном процессе. Поскольку в производстве возможны внеплановые заказы и изменения номенклатуры выпуска, а также возможен дефицит материальных и трудовых ресурсов, то система управления ГПС должна учитывать перечисленные обстоятельства и обеспечивать продолжение функционирования ГПС.

Поэтапное внедрение ГПС. Заключается в поэтапном наращивании степени автоматизации ГПС от уровня модулей к уровню АСУ ГПС. Этот подход позволяет обеспечить скорейшую отдачу от внедренных компонентов. На первом этапе целесообразно внедрять ГПМ, на втором – автоматизированную транспортно-накопительную систему и на третьем – автоматизированную систему управления ГПС.

4 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ ГПС

4.1 Оборудование с ЧПУ

Универсальным принципом гибкой автоматизации основных операций технологического процесса является принцип числового программного управления (ЧПУ) технологическим оборудованием. Первыми появились металлообрабатывающие станки с ЧПУ, по мере развития технической базы появилось и другое технологическое оборудование с ЧПУ.

ЧПУ – это способ автоматического управления технологическим оборудованием с помощью устройства числового программного управления (УЧПУ), работающего по сменяемой программе, задаваемой в символьных кодах и несущей всю необходимую информацию о рабочем цикле объекта управления и требуемых изменениях его параметров во времени.

Замена управляющей программы (УП) устройства ЧПУ, позволяет изменить рабочий цикл объекта управления и характер его управляемых параметров во времени, что обеспечивает переход на изготовление другого изделия. В качестве управляемых параметров обычно выступают перемещения рабочих органов технологического оборудования, что типично для металлообрабатывающих станков, промышленных роботов, сварочных автоматов, автоматов для раскройки материалов и др.

На рис. 52 приведена структура системы ЧПУ. Управление осуществляется приводами координатных перемещений технологического оборудования и его исполнительными механизмами. При управлении приводами решается задача автоматического регулирования координатных перемещений исполнительных органов и скорости их движения с целью обеспечения требуемой траектории движения в пространстве.

При регулировании фактические координаты исполнительного органа контролируются датчиками координат, которые могут иметь разный принцип действия. Эти датчики замыкают обратную связь по контролируемому параметру, превращая систему регулирования в замкнутую систему. При регулировании управляющие сигналы являются аналоговыми сигналами. Аналоговыми или цифровыми являются при этом информационные сигналы обратной связи.

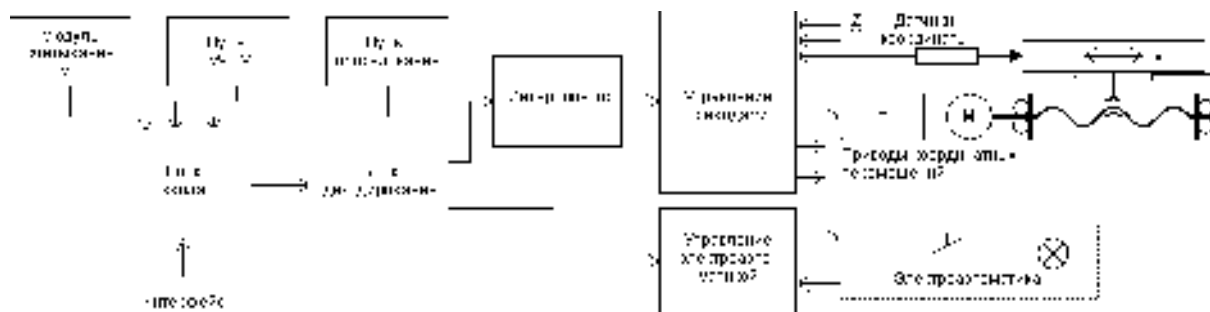


Рис. 52. Структура системы ЧПУ

В принципе возможны два способа задания перемещений исполнительного органа:

- задание координат конечного положения исполнительного органа,
- задание траектории движения исполнительного органа.

В первом случае траектория движения исполнительного органа неопределенна и значение имеет только конечное положение (позиция) исполнительного органа. Система управления в этом случае более проста и носит название позиционной системы ЧПУ.

Во втором случае исполнительный орган движется по заданной траектории в пространстве. Системы ЧПУ, обеспечивающие движение исполнительного органа по заданной траектории, называются контурными системами ЧПУ. При управлении приводами, для

осуществления контурного управления, требуется взаимосвязь движений по разным координатам. Для взаимосвязанного управления приводами разных координат используется интерполятор, вычисляющий текущие значения координат в процессе движения исполнительного органа по заданной траектории.

Управление прочими исполнительными механизмами осуществляется с целью обеспечения требуемой последовательности их работы и сводится к задаче циклового управления. Информационные сигналы датчиков о состоянии исполнительных механизмов и управляющие команды, подаваемые на исполнительные механизмы, являются логическими сигналами. Датчиками информации являются переключатели, конечные и путевые выключатели, контакты реле или пускателей и др.

Внешняя информация в УЧПУ поступает через блок ввода, к которому подключены пульта устройства ЧПУ и технологического оборудования, а также устройство для считывания управляющей программы с того или иного программносителя (перфолента, магнитная лента, магнитные диски). Используя пульта управления, оператор может изменять режим работы, контролировать работу, вносить коррекции в управляющую программу или осуществлять программирование УЧПУ.

Управляющая программа в современных системах ЧПУ составляется в символьном виде на специальных языках программирования. Для преобразования этой программы в команды управления в составе УЧПУ имеется блок декодирования. Введенная программа определяет рабочий цикл управляемого оборудования и траектории движения его исполнительных органов.

Современные УЧПУ построены с использованием микроЭВМ и имеют интерфейсные средства для связи с другими ЭВМ. Это обстоятельство позволяет использовать оборудование с ЧПУ в составе сложных автоматизированных технологических систем (например,

ГПС) и управлять им от центральной ЭВМ, например, осуществлять автоматическое перепрограммирование УЧПУ.

Таким образом, оборудование с ЧПУ представляет собой гибкое автоматическое технологическое оборудование, автоматизирующее основные технологические операции и позволяющие переходить на выпуск новых изделий путем перепрограммирования. Недостатком оборудования с ЧПУ является меньшая, по сравнению со специализированными технологическими автоматами, производительность и отсутствие автоматизации вспомогательных операций.

На рис. 53 показан общий вид многооперационного станка с ЧПУ (обрабатывающий центр) модели ИР500МФ4. На станине 7 станка имеются направляющие для перемещения стола 8 и стойки 1. По направляющим стойки 1 перемещается шпиндельная бабка 2, несущая вращающийся шпиндель, в который устанавливается обрабатывающий инструмент. В результате взаимных перемещений стойки, стола и шпиндельной бабки реализуется пространственная прямоугольная система координат станка.

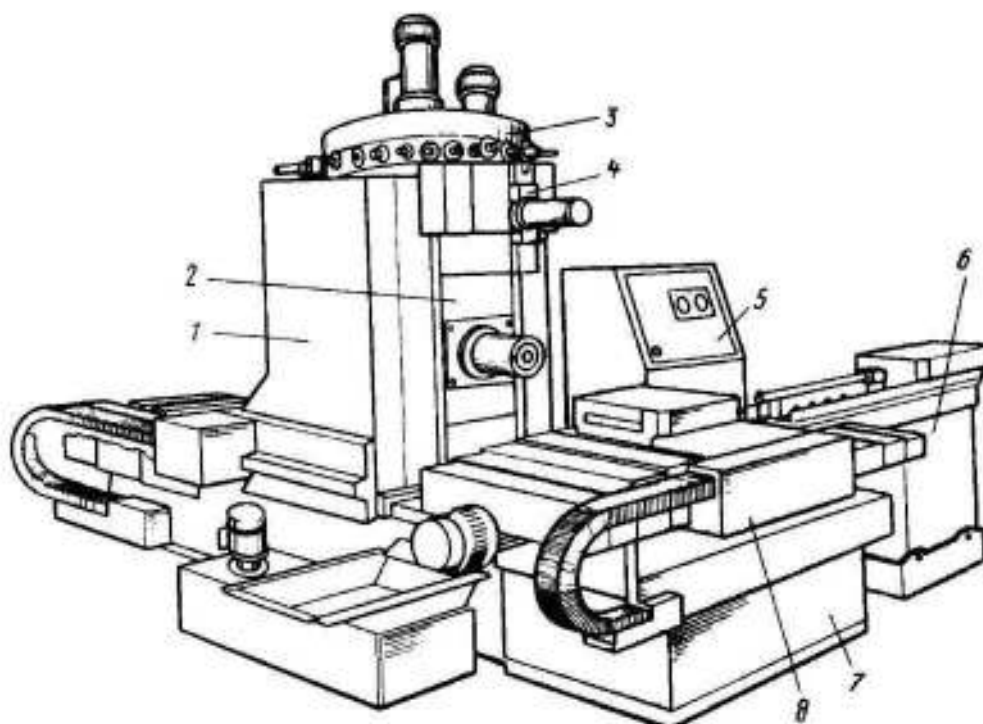


Рис. 53. Обрабатывающий центр IP500MF4

Все координатные перемещения станка имеют управляемые приводы, обеспечивающие точную обработку заданных в программе величин перемещений (класс точности станка "Н"). Диапазон перемещений по координатам лежит в пределах 500–800 мм.

Инструмент, необходимый для обработки сложных деталей, хранится в автоматическом инструментальном магазине 3 на 30 инструментов. Инструментальный манипулятор 4 обеспечивает автоматический обмен инструментами между магазином и рабочим шпинделем станка. Замена инструментов программируется в управляющей программе по мере осуществления технологических переходов.

К станку может придаваться автоматическое устройство 6 (приемно-передающий стол) для загрузки-разгрузки станка. Управляется станок от процессорной системы ЧПУ 5, которая позволяет управлять тремя координатами, причем 2 координаты управляются одновременно. Последнее свойство позволяет осуществлять контурную обработку.

Для работы станка в УЧПУ вводится нужная управляющая программа и производится ее запуск. Все дальнейшие действия определяются этой программой.

Обрабатываемая заготовка, закрепленная на столе-спутнике, устанавливается на стол станка и зажимается в технологическом приспособлении. Затем, в соответствии с управляющей программой в шпиндель станка загружается из инструментального магазина первый инструмент и начинается обработка заготовки.

В процессе обработки за счет приводов инструмент и заготовка взаимно перемещаются для получения требуемой формы детали. Автоматически устанавливаются требуемые режимы обработки (скорости главного движения и подачи). По завершению первого перехода автоматически заменяется инструмент в шпинделе станка и выполняется следующий переход технологической операции.

В процессе обработки, по мере необходимости, включаются и выключаются различные устройства: насосы охлаждающей жидкости, клапаны и др. После завершения обработки обработанная деталь удаляется со стола станка и загружается новая заготовка. Если заготовка изменилась, то загружается новая управляющая программа и процесс обработки возобновляется.

Целый ряд вспомогательных операций приходится для описываемого станка выполнять вручную. К таким операциям относятся: комплектация инструментального магазина нужным инструментом, удаление стружки, контроль результатов обработки и коррекция управляющей программы, установка заготовок на спутники, разборка спутников после обработки и некоторые другие.

Сравнительная простота перестройки оборудования с ЧПУ на выпуск измененной продукции определила широкое применение этого оборудования для автоматизации многономенклатурного серийного производства, объем которого составляет, как отмечалось, около 80 % от общего объема производства.

4.2 Промышленные роботы

4.2.1 Промышленная робототехника

Широкое распространение автоматического технологического оборудования породило противоречие между уровнем автоматизации основных операций технологических процессов и отсутствием или недостаточной степенью автоматизации вспомогательных операций. Особенно это проявлялось в серийном производстве, где специальные и специализированные средства автоматизации вспомогательных операций экономически себя не оправдывали.

Для решения проблемы была предложена концепция многофункционального программно-управляемого автомата, способного выполнять вспомогательные операции. Эта концепция была реализована в виде промышленного робота (ПР). Первые ПР выпущены на рынок в 1962 г. американскими фирмами AMF и "Юнимейшен" под названиями "Версатран" и "Юнимейт" соответственно.

Первоначально промышленные роботы были ориентированы, в первую очередь, на автоматизацию операций загрузки-разгрузки автоматического оборудования. Однако, по мере совершенствования ПР, сфера их применения на производстве существенно расширилась и охватила многие основные операции (сварка, окраска, сборка).

Использование принципа программного управления позволило создать гибкое средство автоматизации вспомогательных операций. Для управления ПР используются цикловые системы программного управления, позиционные системы ЧПУ и контурные системы ЧПУ. Гибкость ПР в значительной мере определяется типом системы управления. Так, роботы с цикловым программным управлением при замене управляющей программы требуют определенной перенастройки, например, путем изменения установки конечных

выключателей. Это обстоятельство ограничивает возможности использования таких роботов.

ПР с числовым программным управлением можно перестроить на новый рабочий цикл исключительно заменой управляющей программы, что расширяет их возможности применения и повышает степень их гибкости. Дополнительные возможности промышленный робот приобретает при использовании адаптивной системы управления, когда настройка системы управления, ее структура или алгоритм управления автоматически изменяются, при изменении условий работы робота. Целью такого изменения является поддержание неизменными или оптимизация характеристик функционирования робота в изменяющихся условиях. Сам робот в этом случае оснащается датчиками адаптации.

Стандартным определением промышленного робота является следующее. Промышленный робот это автоматическая машина, представляющая собой совокупность манипулятора и перепрограммируемого устройства управления, для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека при перемещении предметов производства и оснастки. Более коротко ПР определяют как перепрограммируемый автоматический манипулятор.

Для управления современными роботами используются сложные электронные системы и ЭВМ. Теоретические основы робототехники поэтому включают два направления:

- теорию механизмов и машин, изучающую механические устройства робота;
- теорию электронных и компьютерных устройств, изучающую элементы систем управления робота.

Эти два направления объединяются в новую отрасль науки, которая называется **мехатроникой**. В последнее время мехатроника охватывает не только промышленные роботы, но любые

автоматические механические устройства, оснащенные электронными и компьютерными системами управления.

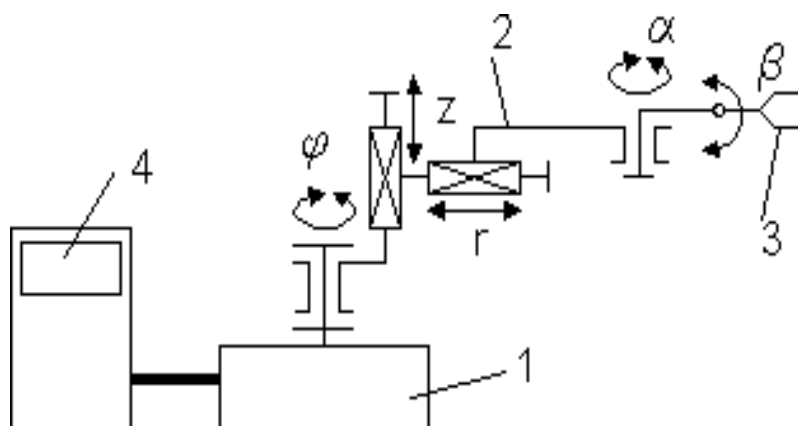


Рис. 54. Промышленный робот

Обобщенная компоновка промышленного робота приведена на рис. 54, где 1 – корпус манипулятора, 2 – рука робота, 3 – операционное устройство робота, 4 – устройство управления.

В составе промышленного робота можно выделить манипулятор и устройство управления. Манипулятор служит для управляемого перемещения операционного устройства в пространстве. Операционным устройством может служить схват или инструмент. При наличии схвата робот может захватывать им различные объекты и затем их перемещать в пространстве требуемым образом. Если робот оснащен инструментом, то с помощью последнего он может выполнять ту или иную обработку.

Манипулятор состоит из последовательности кинематических звеньев, подвижно соединенных друг с другом посредством кинематических пар поступательного или вращательного движения. Все кинематические звенья оснащены управляемыми приводами, что позволяет их взаимно перемещать, создавая необходимое движение операционного устройства.

Все движения манипулятора можно разделить на движения переноса и ориентирующие движения. Движения переноса, в

основном, обеспечивают перемещение операционного устройства в пространстве (при переносе происходит и побочное изменение ориентации операционного механизма). Ориентирующие движения служат для нужной ориентации операционного устройства в пространстве.

На рис. 54 движениями переноса являются: поворот вокруг вертикальной оси на угол φ , радиальное перемещение r руки робота, вертикальное перемещение z . Эти перемещения создают цилиндрическую систему координат промышленного робота. Ориентирующими движениями являются повороты операционного устройства вокруг вертикальной оси на угол α и вокруг горизонтальной оси на угол β .

Характер траектории движения схвата и приспособленность робота к обслуживанию того или иного оборудования в значительной мере зависят от выбранного сочетания кинематических пар манипулятора и от системы координат, в которой движется схват.

Количество и вид кинематических пар определяют подвижность робота. Число степеней подвижности W определяется из выражения

$$W = 6n - \sum_{i=1}^s i \cdot p_i,$$

где n — число подвижных звеньев, p_i — число кинематических пар i -го класса.

Поскольку в манипуляторах промышленных роботов применяют вращательные и поступательные кинематические пары (пары пятого класса) и, реже, шаровые шарниры (пары третьего класса), то выражение для числа степеней подвижности приобретает вид

$$W = 6n - 5 \cdot p_5 - 3 \cdot p_3,$$

где p_3 — число пар третьего класса (шаровых шарниров), p_5 — число пар пятого класса (чисто поступательного или чисто вращательного движения).

Маневренность определяется по аналогичной формуле в предположении, что схват неподвижен, т. е. при этом число подвижных звеньев уменьшается на единицу

$$m = 6 \cdot (n - 1) - 5 \cdot p_5 - 3 \cdot p_3.$$

Манипуляторы промышленных роботов могут иметь прямоугольную, цилиндрическую, сферическую, угловую (ангулярную) системы координат или комбинированную систему координат, сочетающую перечисленные выше основные координатные системы (рис. 55). Прямоугольная система координат (рис. 55, а) характеризуется тремя поступательными перемещениями (координаты X , Y , Z), цилиндрическая (рис. 55, б) – двумя поступательными и одним вращательным перемещением (координаты ρ , Z и φ), сферическая (рис. 55, в) – одним поступательным и двумя вращательными движениями (координаты ρ , φ , Θ).

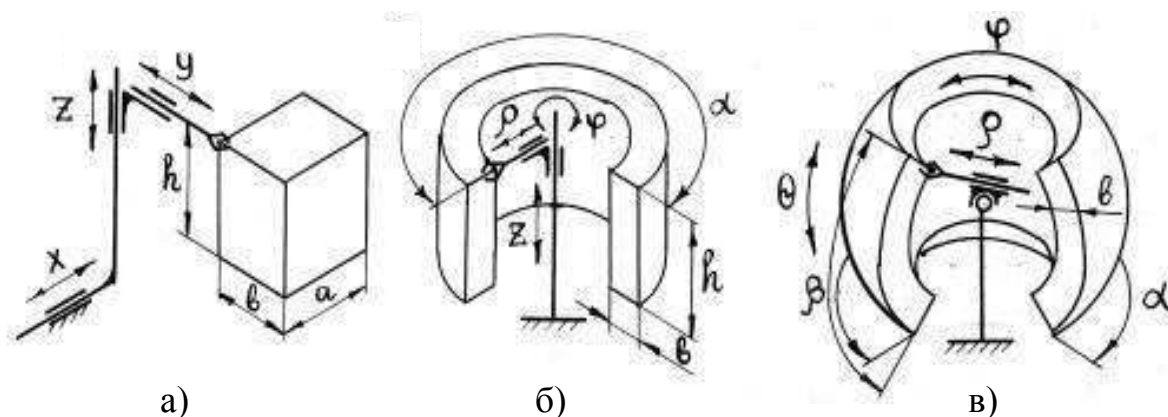


Рис. 55. Системы координат промышленных роботов

Возможны также ангулярные системы координат, когда все движения схвата обеспечиваются угловыми перемещениями в кинематических парах. При использовании комбинированной системы координат для разных движений применяются разные координаты отсчета.

Транспортные (переносные) перемещения схвата манипулятора ПР в пространстве обеспечиваются его совместными перемещениями по каждой из трех названных координат. Ориентирующие степени

подвижности манипулятора образуются за счет вращательных движений схвата (или операционного устройства), приводящих к изменению ориентации последнего в пространстве. Строго говоря, следует учитывать, что и ориентирующее движение схвата незначительно изменяют его координаты в пространстве.

При управлении движениями манипулятора система датчиков или упоров определяет величину перемещений его звеньев. При этом возникает задача определения положения схвата в пространстве по отношению к какой-либо базовой системе координат $OXYZ$. Для решения этой задачи используется матричный метод анализа пространственных рычажных механизмов.

Связь между двумя прямоугольными системами координат $O_j X_j Y_j Z_j$ и $O_i X_i Y_i Z_i$ при совпадении их начал координат выражается следующими зависимостями:

$$X_i = a_{11}X_j + a_{12}Y_j + a_{13}Z_j;$$

$$Y_i = a_{21}X_j + a_{22}Y_j + a_{23}Z_j;$$

$$Z_i = a_{31}X_j + a_{32}Y_j + a_{33}Z_j,$$

где a_{ji} – коэффициенты в виде направляющих косинусов углов, образованных новыми осями координат с прежними осями:

$$M_{ij} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(x_i x_j) & \cos(x_i y_j) & \cos(x_i z_j) \\ \cos(y_i x_j) & \cos(y_i y_j) & \cos(y_i z_j) \\ \cos(z_i x_j) & \cos(z_i y_j) & \cos(z_i z_j) \end{vmatrix}.$$

Для правой системы координат поворот на угол 90° , совмещающий луч OX_i с лучом OY_i , происходит против часовой стрелки, если смотреть со стороны луча OZ_i . Угол поворота вокруг оси принимается положительным, если поворот направлен против часовой стрелки при наблюдении со стороны положительного направления той оси, вокруг которой происходит поворот.

Если происходит перенос координат точки из системы $O_j X_j Y_j Z_j$ в коллинеарную систему $O_i X_i Y_i Z_i$, причем в последней координаты начала координат O_j первой системы равны X_0, Y_0, Z_0 , то новые координаты точки

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{pmatrix}.$$

При исследовании движений манипулятора с каждым его звеном связывается специальная система прямоугольных координат, и затем движения в этих системах преобразуются к базовой неподвижной системе координат. Уравнение движения точки схвата в базовой системе координат и будет уравнением траектории схвата.

4.2.2 Технические характеристики промышленного робота

Как и любое техническое устройство, промышленный робот имеет техническую характеристику, определяющую возможности его применения и позволяющую сравнивать промышленные роботы между собой. Комплекс технических характеристик промышленного робота включает следующие характеристики:

Грузоподъемность – наибольшее значение массы объектов манипулирования, при которой гарантируются их захватывание, удерживание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик робота.

Число степеней подвижности – число степеней свободы звеньев кинематической цепи относительно звена, принятого за неподвижное. Число степеней свободы определяется как сумма возможных координатных движений объекта манипулирования относительно неподвижного звена (стойки, опорной системы, основания и т.п.) без учета движения зажима объекта манипулирования захватным устройством.

Точность позиционирования – отклонение положения рабочего органа промышленного робота от заданного управляющей программой. Величина погрешности позиционирования оценивается в результате многократного повторения роботом заданного рабочего цикла.

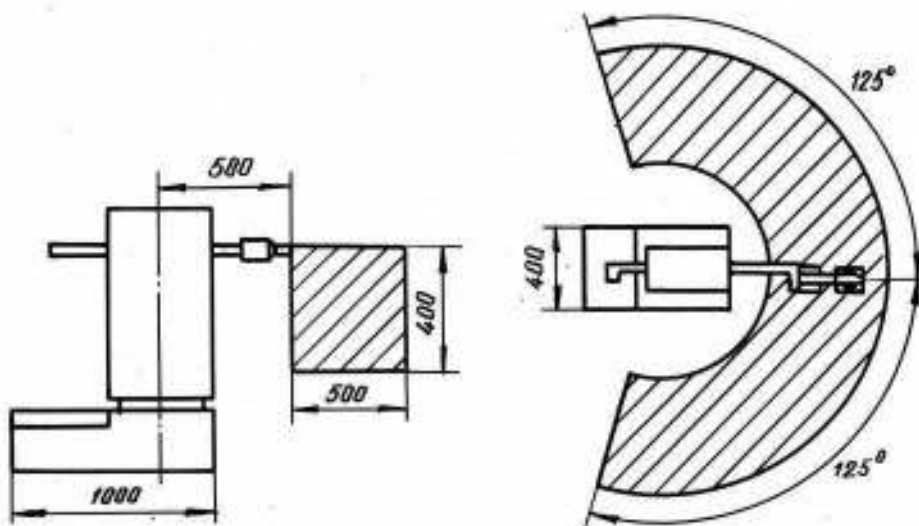


Рис. 56. Рабочая зона промышленного робота

Рабочая зона – объем пространства, в котором перемещается захватное устройство манипулятора. Рабочая зона характеризуется максимальным радиусом обслуживания, перемещениями корпуса, руки и захватного устройства. Под радиусом обслуживания понимают наибольшее расстояние от оси симметрии корпуса промышленного робота до захватного устройства, при котором еще обеспечивается захват и удержание объекта манипулирования с массой, соответствующей грузоподъемности. На рис. 56 показан пример рабочей зоны (зоны обслуживания) промышленного робота с цилиндрической системой координат.

Диапазоны перемещений – величина линейных и угловых перемещений операционного устройства (захвата) промышленного робота, образующие его рабочую зону.

Быстродействие – наибольшие скорости линейных и угловых перемещений подвижных частей робота.

Маневренность – число степеней подвижности, робота при фиксированном положении операционного устройства (схвата).

Количество точек позиционирования по каждой степени подвижности – число конечных точек перемещения операционного устройства робота по каждой управляемой координате.

Количество переходов в цикле – число последовательных программируемых команд при построении рабочего цикла робота.

Перечисленные характеристики являются основными и отражают специфику промышленного робота. Наряду с рассмотренными применяют другие характеристики, принятые для технических устройств: общая масса, вид потребляемой энергии, энергоемкость и т.д.

4.2.3. Приводы промышленного робота

Для осуществления необходимых движений промышленный робот оснащается приводами. Приводные устройства связываются с кинематическими звеньями манипулятора и осуществляют их перемещения под управлением программы. Для контроля перемещений используются соответствующие датчики, которые также связываются с кинематическими звеньями. Приводные устройства в зависимости от используемого вида энергии делятся на пневматические, гидравлические и электромеханические.

Пневматические привода реализуются с использованием пневматических цилиндров возвратно-поступательного или вращательного перемещения, реже используются ротационные пневмодвигатели. Пневмопривод обеспечивает высокие скорости движения (до 2 м/с), прост по конструкции и дешев, может работать во взрывоопасных и запыленных средах, однако пневмопривод обладает малой нагрузочной способностью и не может быть использован в промышленных роботах с позиционным принципом управления.

Пневматический привод используется в малых и средних роботах с цикловыми системами управления и позиционированием по упорам. В приводе используются пневматические цилиндры, пневматические поршневые поворотные двигатели, а также специальные виды приводов. Питание пневмопривода осуществляется от заводских сетей сжатым воздухом.

Гидравлический привод основан на применении гидроцилиндров и гидродвигателей. Этот привод компактен, обладает высокой нагрузочной способностью и жесткостью, что позволяет создавать манипуляторы с позиционным и следящим принципом управления. В то же время гидропривод сложен и дорог. Для питания гидропривода используются локальные гидростанции, что дополнительно усложняет и удорожает привод.

Гидропривод обеспечивает большой диапазон рабочих нагрузок робота ($1 \dots 100000$) Н, высокую точность позиционирования ($+ 0,01 \dots 2,0$) мм, широкий диапазон скоростей рабочих органов ($15 \dots 2000$) мм/с или ($3 \dots 180$) град/с, высокую удельную мощность ($0,1 \dots 0,6$) кВт/кг, высокую жесткость до 5000 Н/мкм и ряд других преимуществ. Рабочее давление жидкости лежит в пределах ($14 \dots 21$) МПа.

Электрический привод наиболее универсален и строится с использованием: двигателей постоянного тока с гладким и печатным якорем, с высокоэнергетическими постоянными магнитами; двигателей переменного тока; электромагнитов; линейных двигателей и шаговых двигателей. Электрический привод обладает широкими возможностями регулирования скорости перемещений, легко совместим с системами ЧПУ, обеспечивает высокую точность позиционирования и не создает сложностей в снабжении энергией. В то же время электропривод имеет сложное схемное и конструктивное решения и, как правило, требует применения различных редукторов и передаточных механизмов.

Наиболее целесообразно в промышленных роботах использовать комплектные регулируемые электроприводы, включающие: преобразователь энергии (транзисторный или тиристорный), исполнительный двигатель, передаточный механизм, тахогенератор, силовой трансформатор, дроссели и встроенный тормоз. Комплектный дискретный электропривод включает: шаговый

двигатель; коммутатор фаз; задатчик скорости; блок питания и форсировки.

При использовании привода вращательного движения механическую систему манипулятора можно описать уравнением идеализированной машины

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_a(t, x) - M_c(t, x),$$

где J – приведенный к валу машины момент инерции движущихся частей, ω – угловая скорость вала, M_d – момент движущих сил, M_c – момент сил сопротивления. Или в линеаризованном виде

$$J \frac{d\omega}{dt} + \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M_a}{\partial \omega} \right) \cdot \omega(t) = \frac{\partial M_a}{\partial x} \cdot x(t),$$

где $\omega(t)$ – отклонение угловой скорости, $x(t)$ – отклонение влияющего параметра, t – время.

Если между валом двигателя и перемещаемой массой имеются упругие элементы, то целесообразно использовать в качестве модели двухмассовую систему. При этом одна масса сосредоточена на валу двигателя, вращается со скоростью ω_1 и обладает моментом инерции J_1 , другая отделена от вала двигателя упругим элементом (возможна при этом и типовая нелинейность "зона нечувствительности"), вращается со скоростью ω_2 и имеет момент инерции J_2 . Все величины, характеризующие движение механических элементов, должны быть приведены к скорости приводного двигателя. Движение системы опишется системой уравнений

$$\begin{aligned} J_1 \frac{d^2\phi}{dt^2} &= M_d - M_{\text{упр}}, \\ J_2 \frac{d^2\phi}{dt^2} &= M_{\text{упр}} - M_c, \\ C \cdot (\phi_1 - \phi_2) &= M_{\text{упр}}, \end{aligned}$$

где M_d – момент движущих сил, M_c – момент сил сопротивления, $M_{\text{упр}}$ – момент упругого элемента, C – коэффициент жесткости упругого

элемента, φ_1, φ_2 – углы поворота приводного и приемного валов. При наличии линейно движущихся частей их можно привести к осям вращения

$$M = \frac{F \cdot V}{\omega \cdot \eta}, \quad J = \frac{m \cdot V^2}{\omega^2},$$

где M, J – приведенный момент сил и момент инерции; F, m – сила сопротивления и масса поступательно движущейся части; V, ω – линейная и угловая скорости; η – к.п.д. механической передачи от вращательного движения к поступательному.

При использовании пневматического или гидравлического цилиндра уравнение движения поршня

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} = P_1 \cdot S_1 - P_2 \cdot S_2 - P_a \cdot S_{\sigma} - F_i,$$

где l – перемещение поршня; P_1, P_2, P_a – давление в рабочей, выхлопной полостях и атмосферное; S_1, S_2, S_{σ} – площади поршня и штока; F_i – суммарная нагрузка; t – время.

Изменение давления в рабочей и выхлопной полостях цилиндра

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_1}{dt} &= \frac{k \cdot \sigma_1}{X_0 + X} \cdot \left(\frac{G_1 \cdot R \cdot T_{10}}{\sigma_1 \cdot P_{10} \cdot \Omega_1} - \frac{dX}{dt} \right), \\ \frac{d\sigma_2}{dt} &= \frac{k \cdot \sigma_2}{X_0 + S - X} \cdot \left(- \frac{G_2 \cdot R \cdot T_{20}}{\sigma_2 \cdot P_{20} \cdot \Omega_2} + \frac{dX}{dt} \right), \end{aligned}$$

где, $\sigma_1 = \frac{P_1}{P_0}, \sigma_2 = \frac{P_2}{P_1}, P_0$ – давление в сети; k, R – показатель адиабаты и газовая постоянная; $T_{10}, T_{20}, P_{10}, P_{20}$ – температура и давление в поршневой и штоковой полостях пневмоцилиндра; G_1, G_2 – массовый расход воздуха, поступающего в поршневую и штоковую полости пневмоцилиндра; X_0, X, S – начальная, текущая координаты поршня и полный путь.

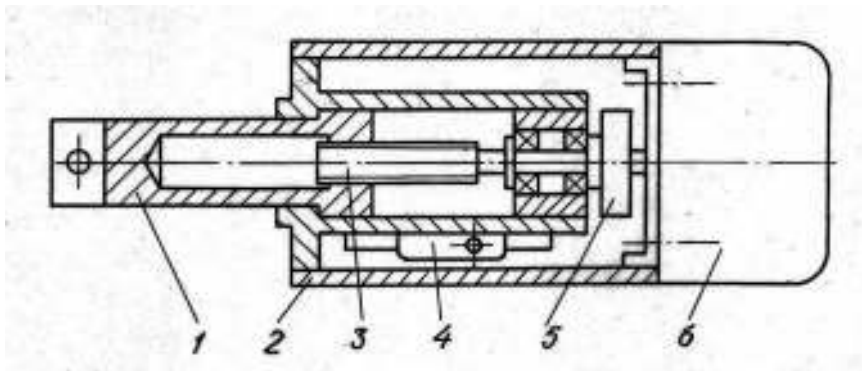


Рис. 57. Электромеханический привод

Пример
конструктивной
схемы
электропривода
поступательного
движения
(например, для
руки

манипулятора) показан на рис. 57. Выходным элементом является шток 1, имеющий направляющие для поступательного (без вращения) перемещения в корпусе 2. Шток имеет гайку, навинченную на ходовой винт 3, который вращается в подшипниках без осевого смещения, и через муфту 5 соединен с валом приводного электродвигателя 6. Ограничение перемещений штока 1 осуществляется механизмом конечных выключателей 4 (на рис. 57 показано упрощенно).

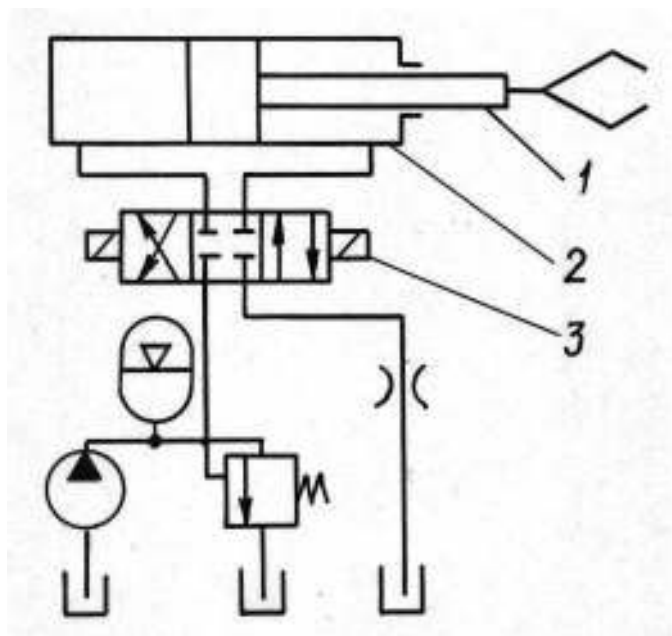


Рис. 58. Пневмогидравлический привод

Схема пневмо- или
гидропривода
поступательного
перемещения с разомкнутой
системой управления
показана на рис. 58. Поступательно перемещается
шток 1 цилиндра 2. Управление движениями
штока осуществляется
распределителем 3. Скорость
перемещения задается дрос-
селем на выхлопной магистрали.

Величина перемещений ограничивается упорами, действующими на перемещающуюся

часть (на схеме не показаны). Привод применим при цикловом управлении.

В случае позиционного управления, когда необходимо обеспечить остановку штока в любой заданной точке диапазона

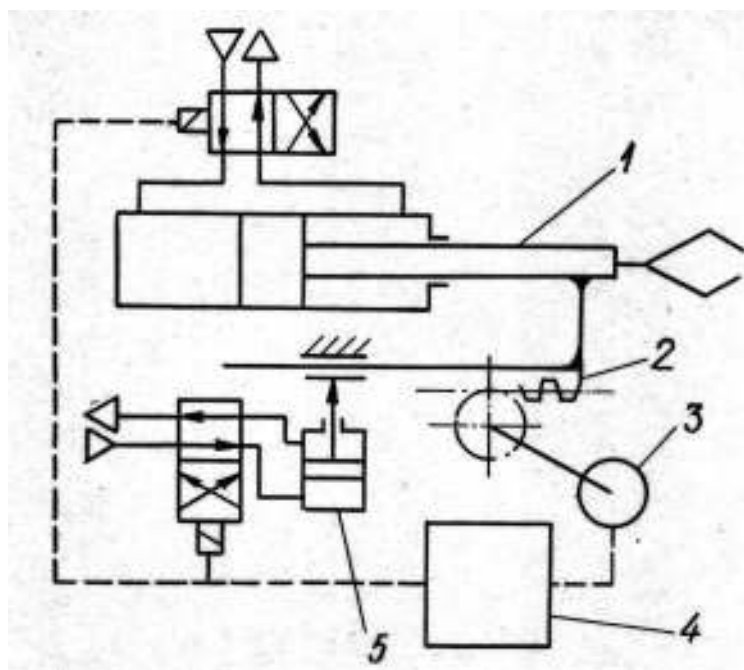


Рис. 59. Следящий привод

перемещений, может использоваться следящий привод, схема которого показана на рис. 59. Со штоком пневмоцилиндра 1 соединен ползун 2, снабженный пневматическим тормозом, приводимым от пневмоцилиндра 5.

Перемещение штока через кинематическую передачу воспринимается датчиком обратной связи 3, соединенным с блоком управления 4.

При подходе подвижной части к точке позиционирования, определяемой датчиком 3, система управления подает встречное давление в цилиндр, и скорость движения подвижного органа снижается до "ползучей", составлявшей 5..10 % от номинальной. Фиксация подвижного органа в точке позиционирования осуществляется тормозным устройством за счет включения тормозного пневмоцилиндра 5.

4.2.4. Целевые механизмы промышленного робота

Движения манипулятора промышленного робота в той или иной степени подражают движениям руки человека, это и понятно, поскольку робот создан для замены человека. Особенностью робота является наличие руки, снабженной кистью и схватом (или захватом).

Этот механизм должен иметь достаточную мощность привода для обеспечения требуемой грузоподъемности и достаточную жесткость для обеспечения требуемой точности позиционирования и быстродействия. Если еще учесть, что для обеспечения требуемой зоны обслуживания рука робота должна обладать значительным наибольшим вылетом, то сложность проектирования руки становится очевидной.

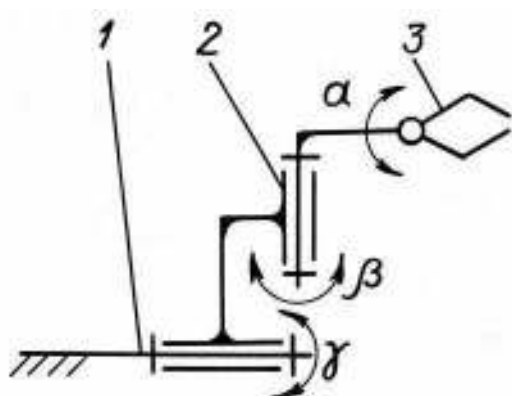


Рис. 60. Кисть руки робота

Сама рука манипулятора обычно имеет поступательное перемещение относительно корпуса робота. Дополнительные степени подвижности создаются за счет вращательных движений кисти руки относительно руки. Пример расположения кинематических пар кисти руки

показан на рис. 60. Кисть руки 2 несет хват 3 и имеет две оси поворота (углы β и γ) относительно руки 1.

Поскольку рука робота обычно имеет несколько кинематических пар, то для взаимного перемещения ее звеньев используют либо распределенный привод, либо сосредоточенный привод. В первом случае каждая кинематическая пара снабжается отдельным двигателем, максимально приближенным к паре. Достоинством такого способа является сокращение длины кинематических цепей, но масса руки при этом увеличивается за счет двигателей.

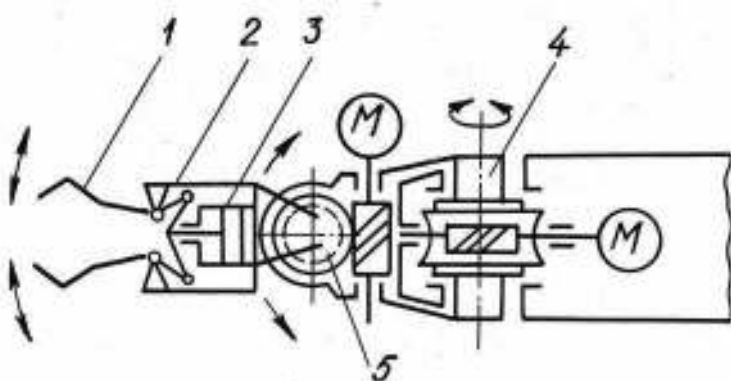


Рис. 61. Распределенный привод кисти

Во втором случае двигатели устанавливаются в наиболее жесткой (например, в

неподвижной) части манипулятора, и движение от них к другим кинематическим звеньям руки подводится кинематическими передачами. В этом случае рука робота имеет сложную кинематику, однако общая масса ее может быть уменьшена.

Пример реализации первого способа показан на рис. 61. Кисть робота совершает два вращательных движения вокруг взаимно перпендикулярных осей, поворот вокруг вертикальной (на рисунке) оси осуществляется от двигателя через червячную передачу 4, поворот вокруг горизонтальной оси – через червячную передачу 5 от отдельного двигателя. Схват 2 манипулятора имеет пневмопривод 3, который обеспечивает сведение и разведение захватных губок 1. Все приводы могут работать независимо друг от друга.

Кисть руки робота с сосредоточенным приводом показана конструктивно на рис. 62. Кисть 14 поворачивается вокруг оси 16 относительно части 2 руки. Одновременно возможен поворот части 7 относительно продольной оси кисти 14. Кисть заканчивается схватом 10. Все кинематические пары приводятся в движение от двигателя 1, помещенного в основании руки. Через муфту 20 вращение передается валу 19, вращающемуся в подшипниках 18 и несущему коническую шестерню 3. Эта шестерня зацепляется с

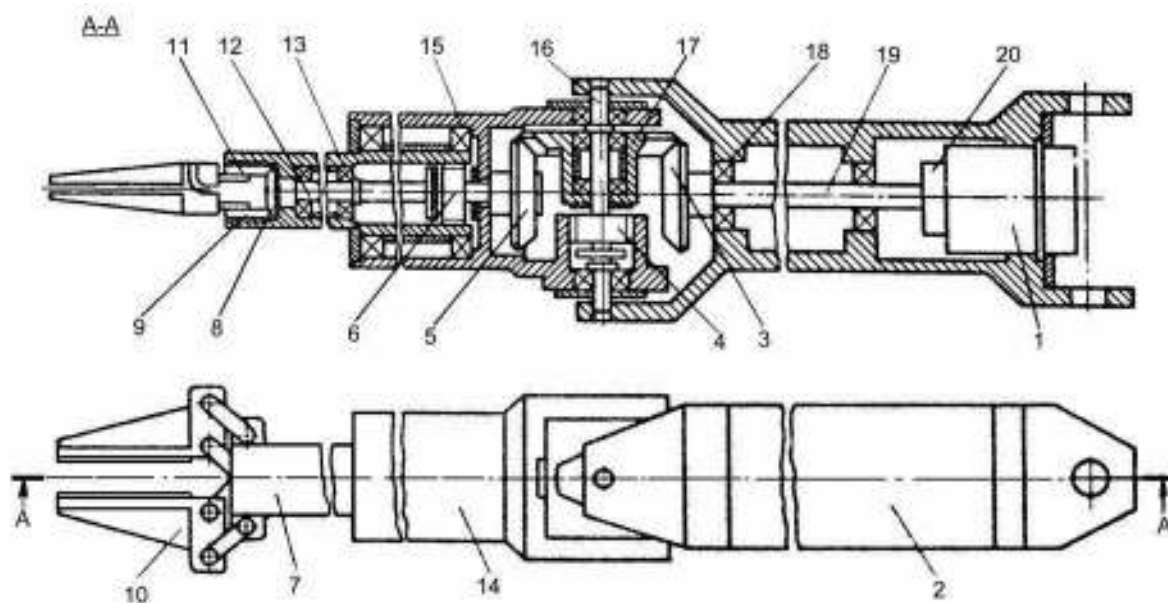


Рис. 62. Сосредоточенный привод кисти манипулятора ПР

шестерней 17, свободно вращающейся на оси 16. При включении муфты 4 корпус 14 кисти руки соединяется с шестерней 17, и происходит его поворот вокруг оси 16. Через коническую шестерню 5 вращение может передаваться на муфту 6. При включении муфты 6 может соединяться с шестерней 5 либо корпус 7, вращающийся в подшипниках 15, что вызывает его поворот вокруг продольной оси, либо вал 12, вращающийся в подшипниках 13. В последнем случае через кинематические элементы 8, 9 и 11 происходит сведение или разведение губок схвата.

Описанная схема имеет более сложную кинематику, чем схема на рис. 61. Однако при этом допускается применение двигателя большей массы и, следовательно, большей мощности. Кроме того, масса руки распределяется более удачно вдоль ее длины, что позволяет улучшить жесткость руки и уменьшить ее момент инерции относительно корпуса манипулятора. Известно большое разнообразие конструктивных схем руки манипулятора.

Робот должен захватывать объект манипулирования, для чего кисть его руки снабжается схватом (или захватом). Поскольку необходимо обеспечить достаточную универсальность промышленного робота по отношению к различным объектам манипулирования, то этому требованию, в первую очередь, должен удовлетворять его схват. В существующих конструкциях промышленных роботов не удалось создать универсальный схват, одинаково приспособленный к манипулированию объектами различной формы.

Поэтому схваты выполняются сменными или имеют сменные захватные элементы (губки). В каждом конкретном случае схват приспособляется к захвату деталей определенного вида: цилиндрических деталей, длинных валов, призматических деталей, плоских деталей и т.д.

Наибольшее распространение получили механические схваты, в которых усилие удерживания объекта манипулирования создается механическим путем. В таких схватах объект манипулирования зажимается между механическими элементами: губками, пальцами, эластичными элементами и т.д. В кинематике таких схватов применяются различные рычажные, клиновые, кулачковые и другие механизмы.

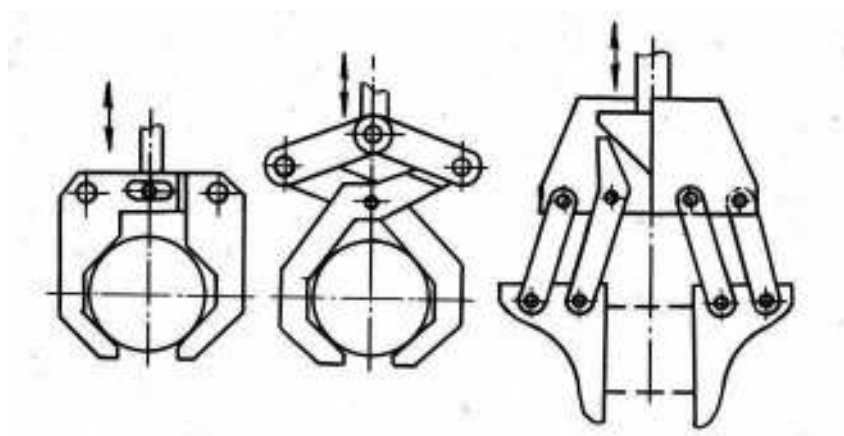


Рис. 63. Схваты ПР

Пример
выполнения
схватов для
цилиндрических и
призматических
деталей показан
на рис. 63.
Схваты построены
с использованием

рычажных и клиновых механизмов. Для захвата цилиндрических деталей применяются призматические губки, для призматической детали – плоские губки. Схваты характеризуются следующими параметрами: 1) усилие захвата; 2) наибольший ход захватных губок; 3) диапазон изменения размеров захватываемых деталей. Привод схвата чаще всего осуществляется от отдельного пневмоцилиндра, хотя могут применяться отдельные электродвигатели, гидропривод и механический привод от общей кинематической цепи руки (рис. 62).

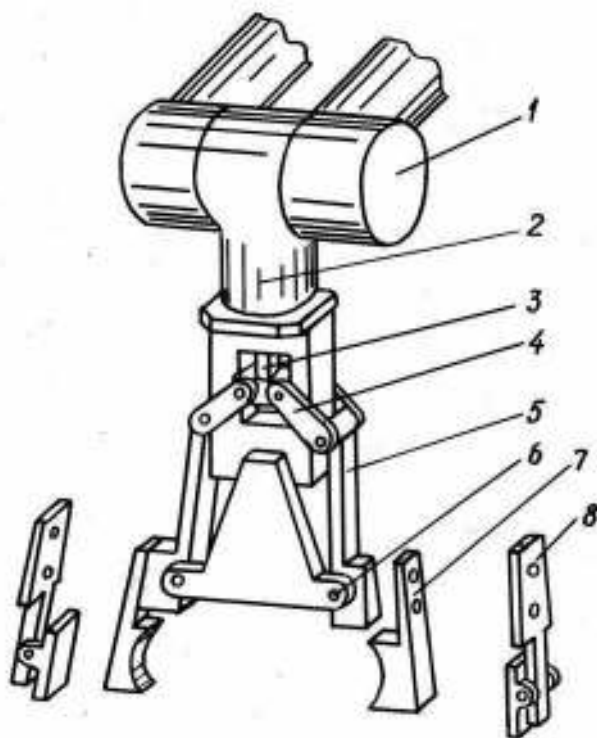


Рис. 64. Сменные губки схвата

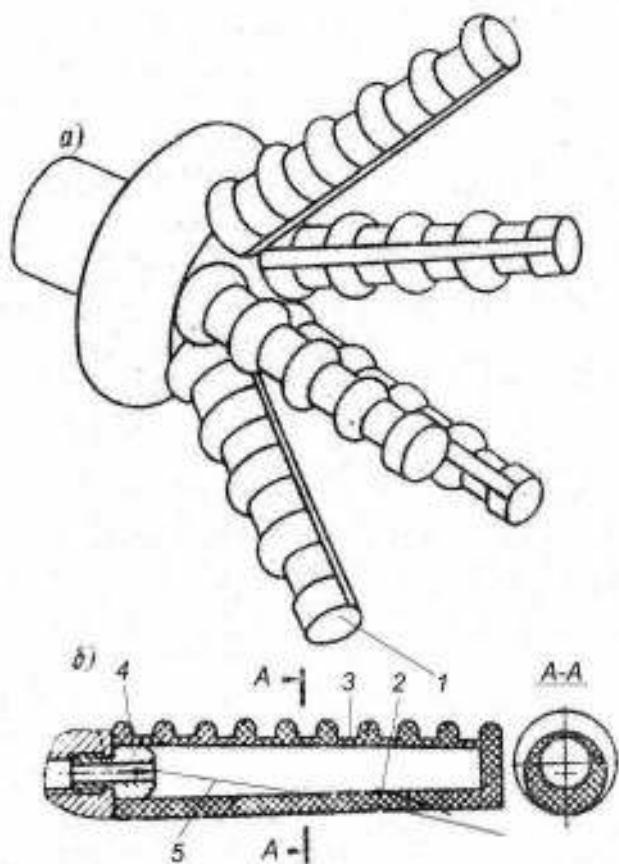


Рис. 65. Эластичный схват

Схват, который показан на рис. 64, может использоваться как для цилиндрических, так и для призматических деталей. К кисти 1 руки манипулятора крепится основание 2 схвата, в котором размещен пневмоцилиндр привода схвата. Шток 3 пневмоцилиндра соединен с ползуном, совершающим возвратно-поступательные перемещения, с которым, в свою очередь, соединены серьги 4. Через серьги 4 усилие пневмоцилиндра передается рычагам 5 с осью вращения 6. При повороте рычагов 5 от пневмоцилиндра 2 происходит движение захвата и зажима объекта манипулирования.

К рычагам 5 винтами крепятся сменные губки 7 и 8. Губка 7 позволяет захватывать цилиндрические детали, губка 8 – плоские. Могут использоваться при этом и другие губки, в зависимости от особенностей конфигурации объекта манипулирования.

Захват деталей сложной формы, особенно если эти детали выполнены из хрупких или мягких материалов, является сложной задачей. В частности, для ее решения применим схват с гибкими пальцами (рис. 65). Пальцы 1 схвата выполнены из эластичного упругого материала, например, из резины. Наружная сторона 3 каждого пальца обладает пониженной жесткостью по сравнению с внутренней стороной 2. Внутри палец имеет объем, куда подается

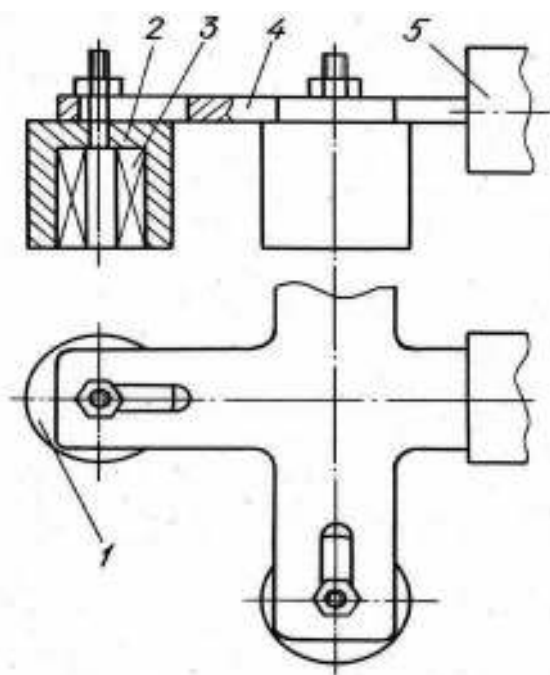


Рис. 66. Электромагнитный захват

сжатый воздух через штуцер 4. При наличии внутреннего давления за счет разной жесткости наружной 3 и внутренней 2 сторон палец изгибается внутрь вдоль оси 5, причем степень изгиба зависит от внутреннего давления. Схват снабжен пятью пальцами, и одновременная подача в их полости давления позволяет пальцами захватывать и зажимать с дозируемой величиной усилия изделия различной формы.

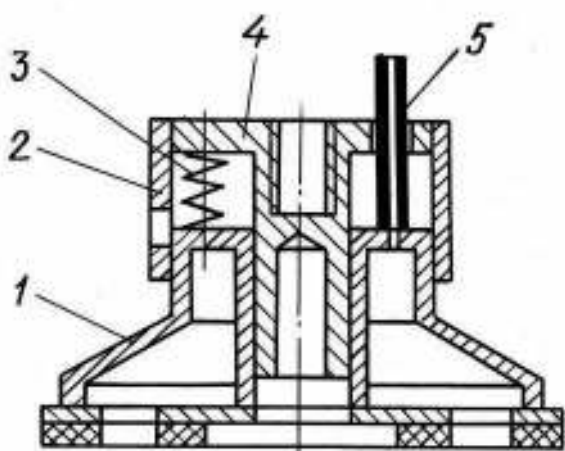


Рис. 67. Вакуумный захват

Распространенной задачей является манипулирование с плоскими тонкими объектами из листового материала при наличии доступа только к одной поверхности объекта. Если объект выполнен из

ферромагнитного материала, то возможно использование электромагнитного захвата (рис. 66). К присоединительному элементу 5 кисти манипулятора закреплена крестовина 4, на которой, в свою очередь, крепятся электромагниты 1, могущие иметь разное исполнение. Электромагнит имеет магнитопровод 2 и катушку 3, выводы от которой присоединяются к источнику питания. Электромагнитный захват прост по конструкции, усилие захвата легко регулируется изменением тока электромагнита, однако для надежной работы такой захват требует тщательной настройки.

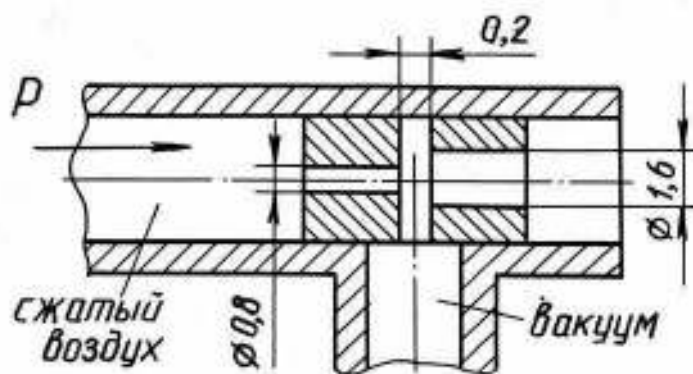


Рис. 68. Эжектор

Вакуумный захват (рис. 67) применим для деталей из любого материала, но имеет ограничения по качеству поверхности у

захватываемого объекта. Такой схват неприменим для деталей с грубой поверхностью. Действует вакуумный охват по принципу вакуумной присоски. Относительно корпуса 4 перемещается присоска 1, которая пружинами 3 прижимается к поверхности объекта. Для ограничения перемещения присоски во втулке 2 имеется направляющий паз, в который входит штифт присоски. После прижатия присоски к поверхности объекта в ее полости через трубопровод 5 создается разрежение и обеспечивается усилие захвата.

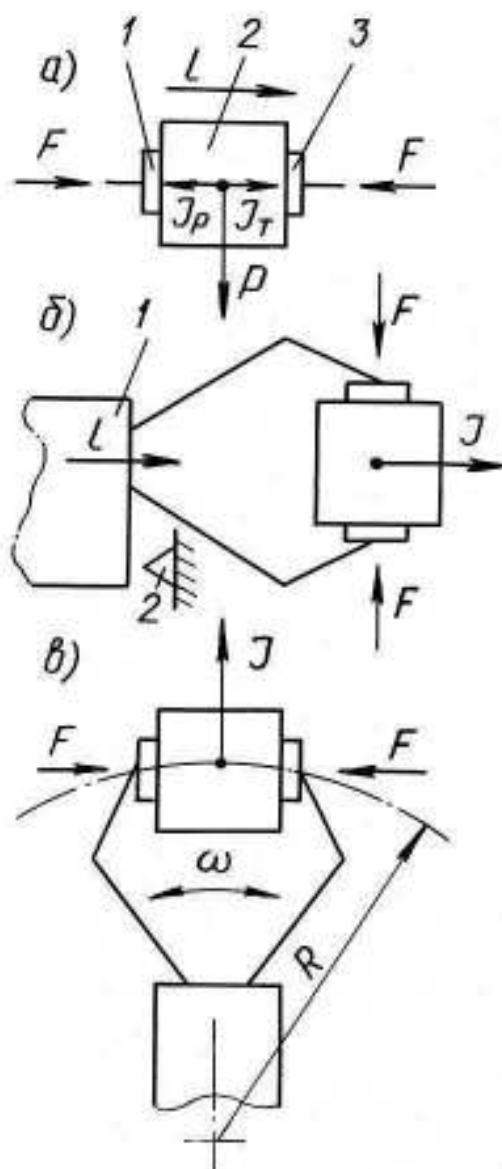


Рис. 69. Расчет усилия захвата

В качестве устройства, создающего вакуум, часто используется эжектор. Конструкция эжектора показана на рис. 68. К входному соплу эжектора подводится сжатый воздух, который истекает в атмосферу через выходное сопло. В камере между соплами при этом создается разрежение, и эта камера соединяется с рабочей полостью вакуумного захвата. Недостатком эжектора является его шумность.

Схват должен надежно удерживать объект при всех режимах работы. Перемещаемый объект создает как статические, так и динамические нагрузки на удерживающие его элементы схвата. На рис. 69, а показан случай линейного перемещения изделия в горизонтальной плоскости. Объект 2

зажат между губками 1 и 3 силой зажима F и перемещается схватом в

направлении l . В статическом состоянии усилие схвата создает между губками и объектом силу трения, которая должна быть больше силы тяжести P объекта,

$$P = m \cdot g < f \cdot F,$$

где m – масса объекта; g – ускорение силы тяжести; f – коэффициент силы трения; F – сила нормального давления, создаваемого при зажиме.

При перемещении изделия в режиме его разгона и торможения на губки схвата действуют отжимающие инерционные силы

$$J_p = m \cdot a_p, \quad J_t = m \cdot a_t,$$

где J_p , J_t – инерционные силы разгона и торможения; a_p , a_t – ускорения разгона и торможения.

Таким образом, условием надежного захвата для рассматриваемого случая является выполнение следующих ограничений:

$$F > \frac{m \cdot g}{f}, \quad F > m \cdot a_p, \quad F > m \cdot a_t.$$

В соответствии с этими ограничениями при выборе усилия зажима следует учитывать как массу объекта, так и ускорения, с которыми объект должен перемещаться.

Для случая на рис. 69, б усилие зажима F должно создавать силу трения большую, чем инерционное усилие J , возникающее при разгоне объекта или при его торможении во время удара ограничителя хода схвата 1 в упор 2,

$$F > \frac{J}{f} = \frac{m \cdot a_{\max}}{f},$$

где a_{\max} – наибольшее возможное ускорение объекта.

При перемещении объекта по дуге окружности радиуса R (рис. 69, в) создается центробежная сила J , которую также следует учитывать при расчете усилия захвата,

$$F > \frac{J}{f} = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot R}{f},$$

где ω – угловая скорость движения объекта.

Реальные случаи манипулирования объектами включают, как правило, все перечисленные варианты, когда на схват действуют масса объекта и инерционные силы, что следует иметь ввиду при определении требуемого усилия зажима. Недостаточное усилие зажима может привести к выбросу объекта из схвата при больших ускорениях, что недопустимо не только с точки зрения нарушения функционирования манипулятора, но и с точки зрения техники безопасности.

Усилие со стороны привода схвата рассчитывается в зависимости от кинематики применяемого механизма. В качестве примера на рис. 70 показан привод схвата с использованием клина.

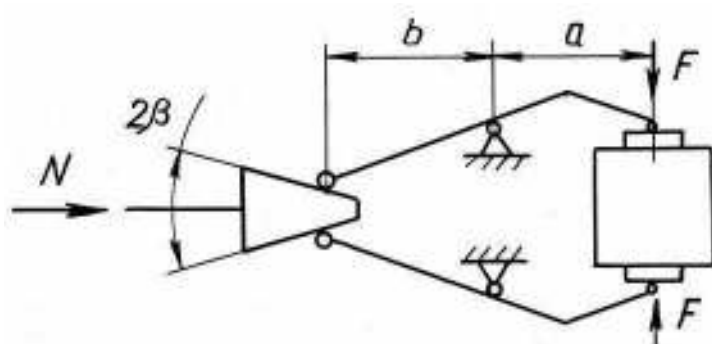


Рис. 70. Клиновой механизм зажима

Для этого случая

$$N = \frac{2F \cdot a \cdot \operatorname{tg}(\beta + \mu)}{b \cdot \eta_p},$$

где $\eta_p = 0,95$ – коэффициент полезного действия передачи; μ – приведенный угол трения.

Для вакуумного схвата сила притяжения

$$F_B = k_p \cdot S \cdot (P_a - P_B),$$

где $k_p = 0,85$ – коэффициент запаса; S – активная площадь присоса; P_a – атмосферное давление; P_B – давление в вакуумной камере.

Притягивающая сила в случае использования электромагнитного схвата

$$F_3 = \frac{(J \cdot W)^2}{k \cdot S \cdot (R_B + R_M)^2},$$

где J – ток в обмотке электромагнита; W – число витков обмотки; k – коэффициент; S – активная площадь соприкосновения объекта с

полюсами электромагнита; R_v R_m – магнитное сопротивление немагнитного зазора и ферромагнитного участка соответственно.

На практике известно большое число различных схватов, и выбор типа схвата приходится часто осуществлять при проектировании роботизированной технологической ячейки применительно к конкретному объекту манипулирования, при этом возможно и проектирование схвата, поскольку стандартные схваты роботов не всегда пригодны при решении конкретных задач. Схват в этом случае должен быть рассчитан по надежности удержания объекта манипулирования.

4.2.5 Управление промышленными роботами

Система управления промышленного робота обеспечивает требуемую последовательность движений его манипулятора и величину перемещений подвижных звеньев. Управление может производиться либо по программе, либо в функции состояния

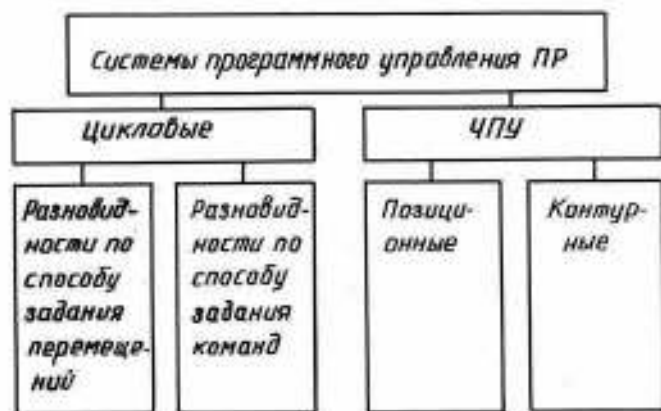


Рис. 71. Классификация систем управления ПР

внешней среды. Возможно и комбинированное управление. Управление в функции состояния внешней среды характерно для адаптивных роботов второго поколения и в современных промышленных роботах, применяемых на

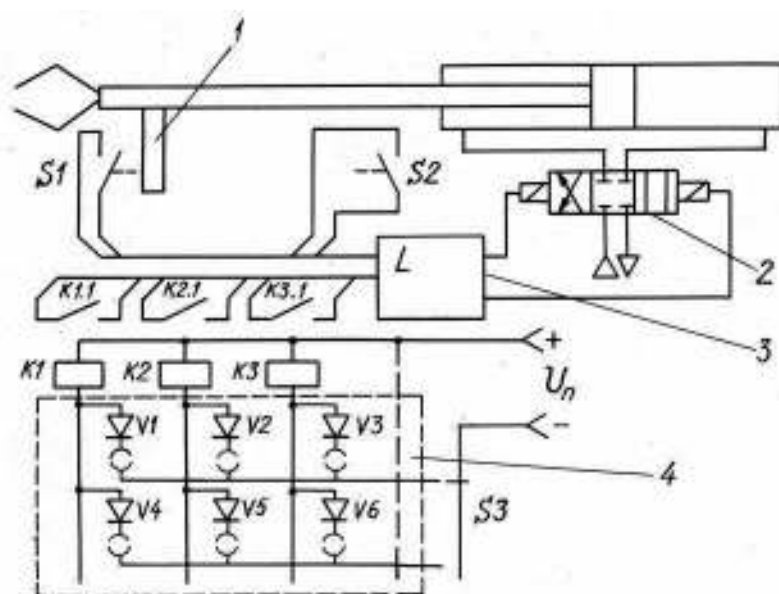
производстве, используется сравнительно редко.

В промышленных роботах первого поколения применяются системы программного управления. Укрупненная классификация таких систем показана на рис. 71. В цикловых системах управления с помощью определенной последовательности команд задается требуемая последовательность элементов рабочего цикла движений

манипулятора. Величина перемещений определяется элементами путевого управления. В цикловой системе управления сочетаются принципы путевого управления и управления по времени.

Величина перемещений может задаваться установкой жестких и регулируемых упоров, контактных и бесконтактных путевых выключателей. Для задания последовательности команд применяют различные командоаппараты, штекерные панели, различные коммутационные устройства. В качестве элементной базы цикловых систем управления современных промышленных роботов широко используются цифровые интегральные микросхемы, позволяющие реализовать достаточно сложную логику управления. Известно также использование элементов пневмоавтоматики и пневмоники. Широкое распространение в настоящее время для управления роботами получили программируемые контроллеры.

Числовые системы управления промышленных роботов основаны на принципах числового программного управления металлообрабатывающими станками и используют близкие технические и схемные решения. В то же время для программирования систем ЧПУ промышленных роботов в основном используется метод обучения, когда первоначально программа отрабатывается в режиме ручного управления, и при этом запоминается системой управления, а затем воспроизводится автоматически.



В позиционных системах ЧПУ программируются только конечные положения каждого подвижного элемента на каждом этапе выполнения

Рис. 72. Пример циклового управления ПР

программы. Траектория движения между заданными позициями не контролируется. Для контурной системы управления программируется траектория движения, что позволяет использовать роботы с такой системой управления для сварки или резки изделий по сложному контуру, а также для окраски изделий сложного профиля. Проще в исполнении и более распространены позиционные системы управления.

Пример цикловой системы управления движениями руки манипулятора показан на рис. 72. С подвижным элементом соединен упор 1, который в крайних положениях руки производит переключение путевых выключателей S1 и S2. Эти выключатели при настройке робота устанавливаются в требуемое положение. Выключатели соединены со входами логического блока 4, который управляет распределителем 2, обеспечивающим подачу давления в полости рабочего цилиндра привода.

Последовательность команд определяется штекерной панелью 4. При этом движению руки вперед или назад соответствует включение одного из реле K1, K2, K3, каждое из которых управляет одним из движений манипулятора. Переход от одного элемента цикла к другому обеспечивается последовательным переключением контактов S3.

Если необходимо, чтобы в первом элементе цикла рука выдвинулась вперед (при условии управления этим движением от реле K1), то следует вставить штекер в гнездо, связанное с диодом V1. В момент установки переключателя S3 в положение, показанное на рис. 22, цепь питания реле K1 замкнется, реле сработает, и его контакты K1.1 подадут команду логическому блоку 3 на переключение распределителя 2 в положение, соответствующее подаче давления в правую полость рабочего цилиндра. При движении руки влево и приходе в конечное положение, упор 1 замкнет путевой выключатель S1, логический блок подаст команду на переключение распределителя 2 в положение, обеспечивающее фиксацию поршня.

После этого логический блок выдаст команду на переход к следующему элементу цикла.

Объем программы для цикловой системы управления зависит от ее схемных особенностей и может достигать нескольких десятков команд. В число команд включаются технологические команды, обеспечивающие на определенном этапе цикла подачу команд от робота во внешние цепи к обслуживаемому технологическому оборудованию, в основном, это команды релейного типа. Возможен также прием релейных команд от внешнего оборудования. Кроме этого, в систему управления включаются реле времени, обеспечивающие выдержки требуемой длительности в запрограммированных элементах цикла.

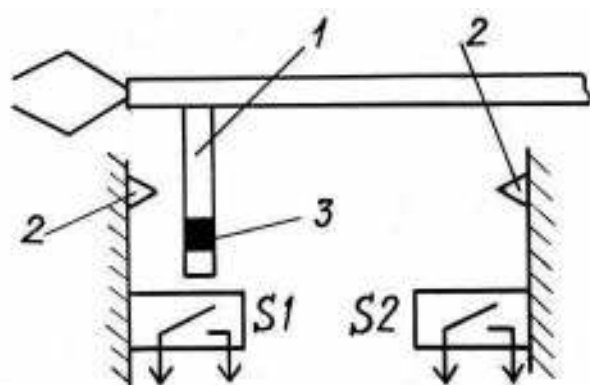


Рис. 73. Позиционирование по упорам

Для обеспечения необходимой точности позиционирования подвижных органов робота вводят ограничение хода подвижных элементов с помощью переставляемых при настройке жестких упоров. Пример показан на рис. 73. Требуемые положения руки 1 задаются

упорами 2. Для обеспечения сигнала обратной связи о приходе руки робота в заданное положение установлены конечные выключатели (например, магнитоуправляемые контакты (герконы)) S1 и S2, которые срабатывают в крайнем положении руки (например, при приближении постоянного магнита 3, связанного с упором руки 1).

Программоносителем цикловой системы управления может быть не только штекерная панель, но и другие виды коммутационных панелей, наборы переключателей и т.д. Программирование команд в системе осуществляется за счет соответствующих изменений

программоносителя (например, путем установки штекеров в определенные гнезда штекерной панели). Для программирования величины перемещений требуется механическая перенастройка упоров или путевых выключателей манипулятора робота. Последнее обстоятельство усложняет перепрограммирование промышленного робота и увеличивает трудоемкость программирования, в связи с чем цикловые системы управления характерны для роботов, используемых, в основном, в массовом и серийном производстве, когда перенастройки робота сравнительно редки.

Число точек позиционирования подвижных элементов манипулятора по каждой координате при цикловой системе управления невелико и ограничено числом упоров или путевых выключателей, обеспечивающих требуемые перемещения руки. В большинстве случаев можно задать только два конечных положения подвижного элемента по управляемой координате.

В системах числового программного управления программируется как команды, так и величины перемещений. В результате, необходимость в перенастройке элементов манипулятора отпадает, а число программируемых позиций подвижных элементов (емкость программы) существенно возрастает. Измерение перемещений подвижных элементов по каждой координате осуществляется с помощью датчиков перемещений. Используются потенциометрические датчики, вращающиеся трансформаторы, сельсины, индуктосины, кодовые датчики и т.д. Широкое распространение получили кодовые датчики.

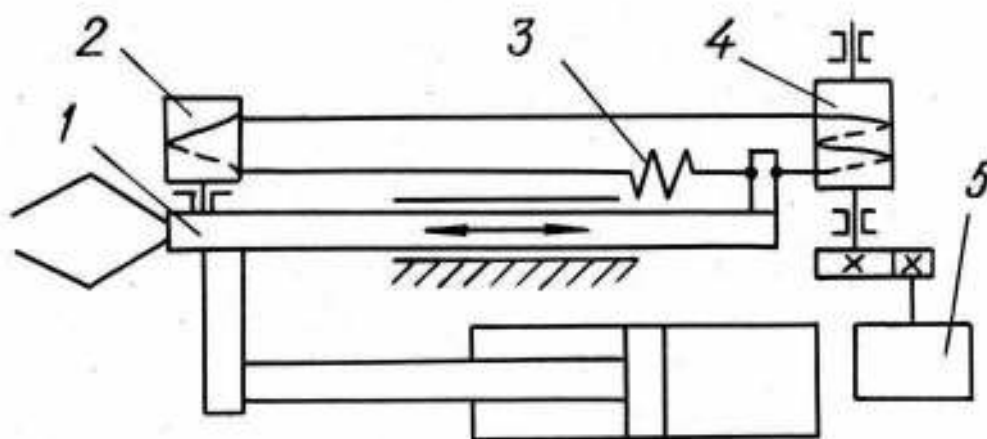


Рис. 74. Измерение перемещений руки робота

На рис. 74 показан пример практического осуществления управляемого по величине перемещения руки робота 1. Контроль перемещения осуществляется круговым кодовым датчиком 5, вал которого зубчатой передачей связан с барабаном 4. На барабан 4 намотана гибкая нить, которая одним концом закреплена на подвижной части руки, а другим – охватывает ролик 2 на подвижной части руки, и соединяется с натяжной пружиной 3.

В этой конструкции угол поворота барабана 4 (а, следовательно, и вала кодового датчика 5) будет пропорционален величине линейного перемещения руки. Этот угол поворота преобразуется датчиком 5 в цифровой код, что обеспечивает возможность управления величиной перемещения. Датчики устанавливаются для контроля каждой управляемой координаты.

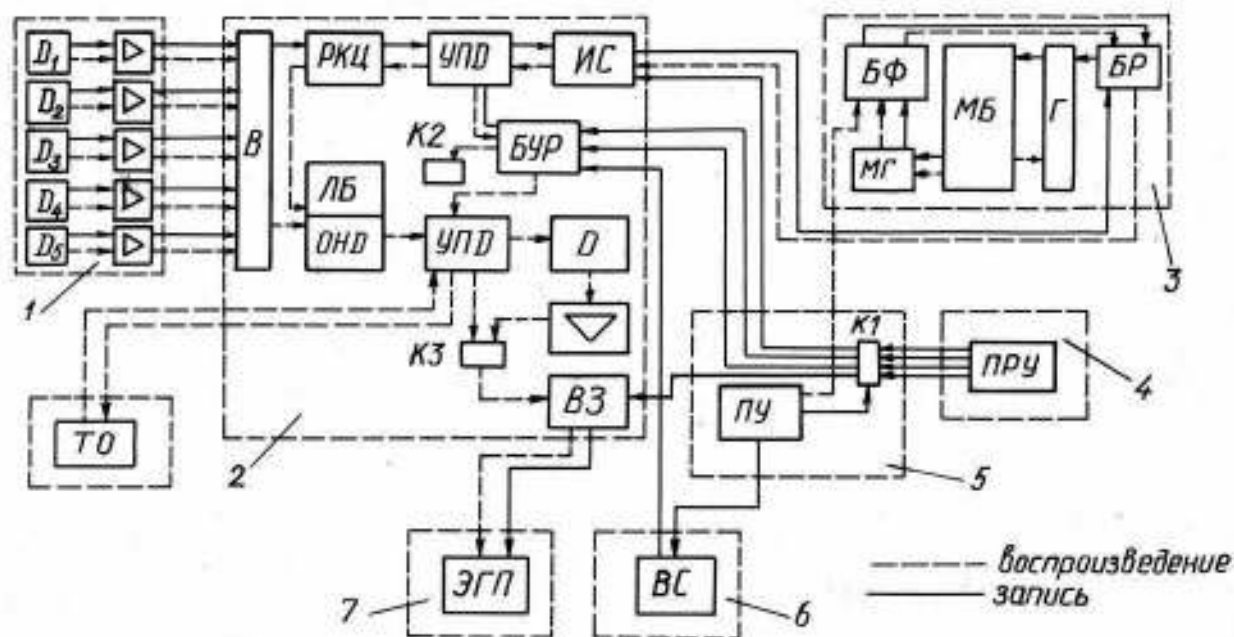


Рис. 75. Система ЧПУ промышленного робота

Структурная схема системы ЧПУ промышленного робота с пятью степенями подвижности показана на рис. 75. Система управления состоит из следующих основных блоков: 1 – кодовые датчики обратной связи; 2 – логическое устройство; 3 – память программ; 4 – блок ручного программирования (обучения); 5 – пульт управления; 6 – блок связи с внешним технологическим оборудованием; 7 – блок управления исполнительными приводами манипулятора.

Сигнал кодовых датчиков $D_1 - D_5$ усиливается с помощью усилителей и подается на коммутатор В логического блока. Логический блок содержит регистры циклического кода РКЦ, устройство управления последовательностью движений УПД, интегральные схемы ИС, блок управления реле БУР, реле К2 и К3, логическое устройство ЛБ, устройство определения направления движения ОНД, демодулятор Д, усилители и устройство управления гидрораспределителями ВЗ.

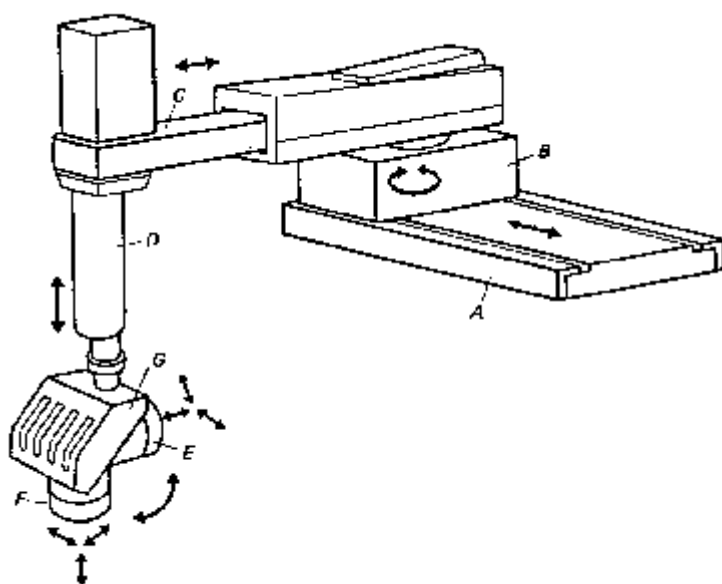
Логический блок работает как в режиме записи программы, так и в режиме ее воспроизведения и обеспечивает декодирование программы, формирование сигналов для управления

исполнительными устройствами манипулятора, обработку сигналов обратной связи и сравнение их с заданными, выборку команд из памяти и их запись в память.

Блок памяти имеет магнитную систему записи команд и содержит память МБ, устройства записи и воспроизведения Г, МГ, устройство формирования сигналов БФ и блок реле БР. Блок памяти позволяет записывать и хранить до 200 позиций подвижных элементов манипулятора. Каждая команда записывается 80-разрядным двоичным кодом и несет всю необходимую информацию для управления определенным движением робота.

Для работы оператора имеется пульт ручного программирования ПРУ и пульт управления ПУ. Непосредственное управление исполнительными гидроцилиндрами (описываемый робот имеет гидравлический привод по всем управляемым координатам) обеспечивается гидравлическими распределителями с электромагнитным управлением ЭГП. Предусмотрены связи с технологическим оборудованием ТО и ВС.

Программирование робота осуществляется в наладочном режиме с ручным управлением. При этом с помощью кнопок пульта ручного управления ПРУ осуществляется весь требуемый цикл движений манипулятора, и команды этого цикла автоматически запоминаются.



На рис. 76, в качестве примера, показан общий вид промышленного робота "Электроника НЦ ТМ-01", который используется для автоматизации загрузки-разгрузки токарных станков с

Рис. 76. Промышленный робот
"Электроника НЦ ТМ-01"

ЧПУ при обработке в патроне. Робот устанавливается на переднюю бабку станка и имеет 5 степеней подвижности.

Конструкция робота модульная: А – модуль продольного перемещения; В – модуль поворота вокруг вертикальной оси; С – модуль продольного перемещения; D – модуль вертикального перемещения; G – модуль схвата, оснащенный двумя схватами Е и F. Управляется робот от системы ЧПУ станка.

Модуль А закрепляется на передней бабке токарного станка таким образом, чтобы его продольная ось лежала в вертикальной плоскости, проходящей через ось шпинделя станка. Робот имеет комбинированную систему координат, поскольку к основной цилиндрической системе координат, обеспечиваемой модулями В, С и D, добавляется дополнительная координата модуля А.

Рис. 77 иллюстрирует установку робота 1 "Электроника НЦ ТМ-01" на передней бабке токарного станка для загрузки заготовок в автоматический патрон 2. Заготовки ПР берет из кассетного накопителя 3 заготовок. Захватив очередную заготовку, робот перемещает ее в патрон, где заготовка автоматически зажимается.

После обработки детали, робот удаляет деталь в свободную позицию кассетного накопителя 3. Наличие двух схватов позволяет роботу совмещать загрузку заготовки и разгрузку изготовленной детали.

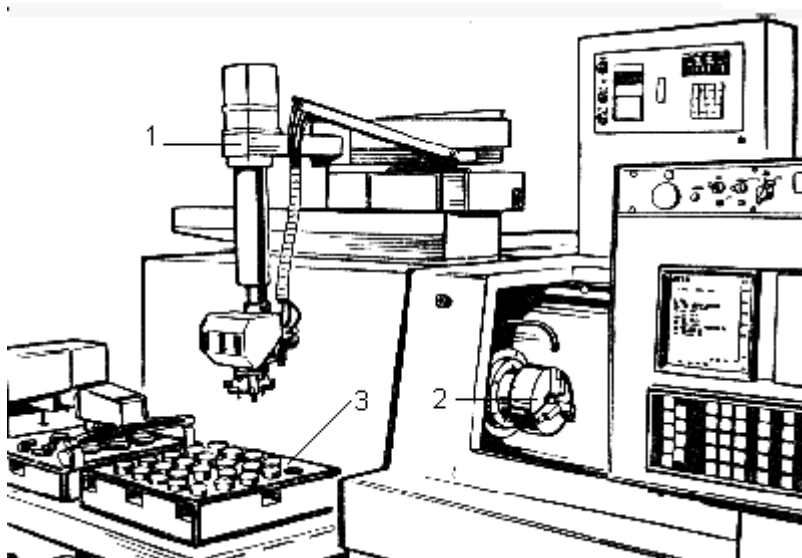


Рис. 77. Установка промышленного робота на станке

Основным достоинством промышленных роботов является их универсальность. Один и тот же робот можно использовать для загрузки-разгрузки самых различных технологических

автоматов. При этом необходим только небольшой объем дополнительных работ по приспособлению робота к решаемой задаче. Например, может потребоваться изготовить для робота специальный схват или дополнительное устройство предварительной ориентации объектов манипулирования.

Чем совершеннее робот, тем меньше дополнительных условий и ограничений на его применение накладывается и тем проще его применение. В результате при автоматизации процессов нет необходимости создавать специализированное средство, а достаточно приобрести серийный ПР с подходящими характеристиками. При этом существенно снижаются временные и материальные затраты на автоматизацию.

Классификация промышленных роботов учитывает следующие их признаки:

По характеру выполняемых операций

- технологические (производственные) ПР,
- вспомогательные ПР,
- универсальные ПР.

По степени специализации

- многоцелевые (универсальные),
- специализированные (целевые),
- специальные.

По системе координат

- с прямоугольной системой координат,
- с полярной системой координат (цилиндрической или сферической),
- с ангулярной системой координат.

По грузоподъемности

- сверхлегкие (до 1 кг),
- легкие (от 1 кг до 10 кг),
- средние (от 10 кг до 200 кг),
- тяжелые (от 200 кг до 1000 кг),
- сверхтяжелые (свыше 1000 кг).

По признаку мобильности

- стационарные (неподвижные) ПР,
- мобильные ПР.

По конструктивному исполнению

- напольные,
- подвесные,
- встроенные (пристаночные),
- порталные.

По типу силового привода

- электромеханические ПР,
- пневматические ПР,
- гидравлические ПР,
- ПР с комбинированным приводом.

По степени совершенства управления

- жестко программируемые,
- адаптивные,
- гибко программируемые.

По типу системы управления

- с цикловым управлением,
- с позиционным ЧПУ,
- с контурным ЧПУ,
- с комбинированной системой ЧПУ,
- с адаптивной системой автоматического управления.

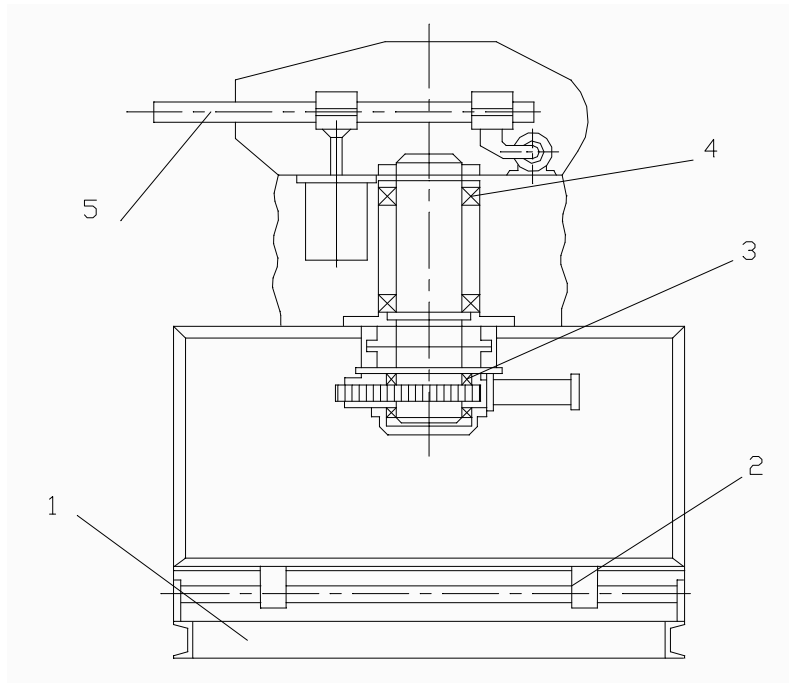


Рис. 78. ПР для перекладки корда

Промышленные роботы эффективны в различных отраслях производства. На рис. 78 показан пример промышленного робота для перемещения гибкого корда в шинном производстве. ПР используется для перекладки заготовок корда с диагонально-

резательной машины на стыковочный транспортёр с разворотом заготовки на 90° относительно её первоначального расположения.

Относительно неподвижного основания 1 по направляющим 2 перемещается станина, внутри которой расположены механизм поворота 3 и механизм подъёма 4. К механизму подъёма крепится механическая рука с захватом 5.

ПР в автоматическом режиме выполняет последовательно следующие операции. В исходном положении рука 5 находится над транспортёром диагонально-резательной машины. При подходе заготовки корда на исходную позицию конечный выключатель выдает сигнал и рука с захватом опускается вниз на заготовку. Заготовка закрывается катками, после чего рука поднимается в верхнее положение. Затем она поворачивается на 90°, катки раскатываются и капроновая нить отбрасывает заготовку на транспортную ленту. Рука возвращается в исходное положение и при поступлении следующей заготовки на исходную позицию цикл повторяется.

Рабочие перемещения составляют 100–300 мм при скоростях 0,3–0,9 м/с. Длина перекадываемой заготовки 1500 мм. Ширина заготовки от 600 мм до 900 мм. Робот имеет цикловую систему управления.

4.3 Роботизированные технологические комплексы

Роботизированные технологические комплексы (РТК) позволяют автоматизировать отдельные технологические операции или их совокупность. В состав РТК входит основное технологическое автоматическое оборудование, промышленный робот и вспомогательные устройства, обеспечивающие работу ПР и РТК. Представление о многообразии РТК дает диаграмма, приведенная на рис. 79.

В зависимости от функционального назначения промышленного робота можно выделить комплексы, в которых робот выполняет вспомогательные функции обслуживания основного технологического оборудования (например автоматизирует его загрузку-разгрузку штучными заготовками), и комплексы, в которых робот сам выполняет технологическую операцию с помощью переносного инструмента.

Построение РТК зависит также от вида автоматизируемого технологического процесса, от особенностей его организации и от особенностей применяемого промышленного робота.

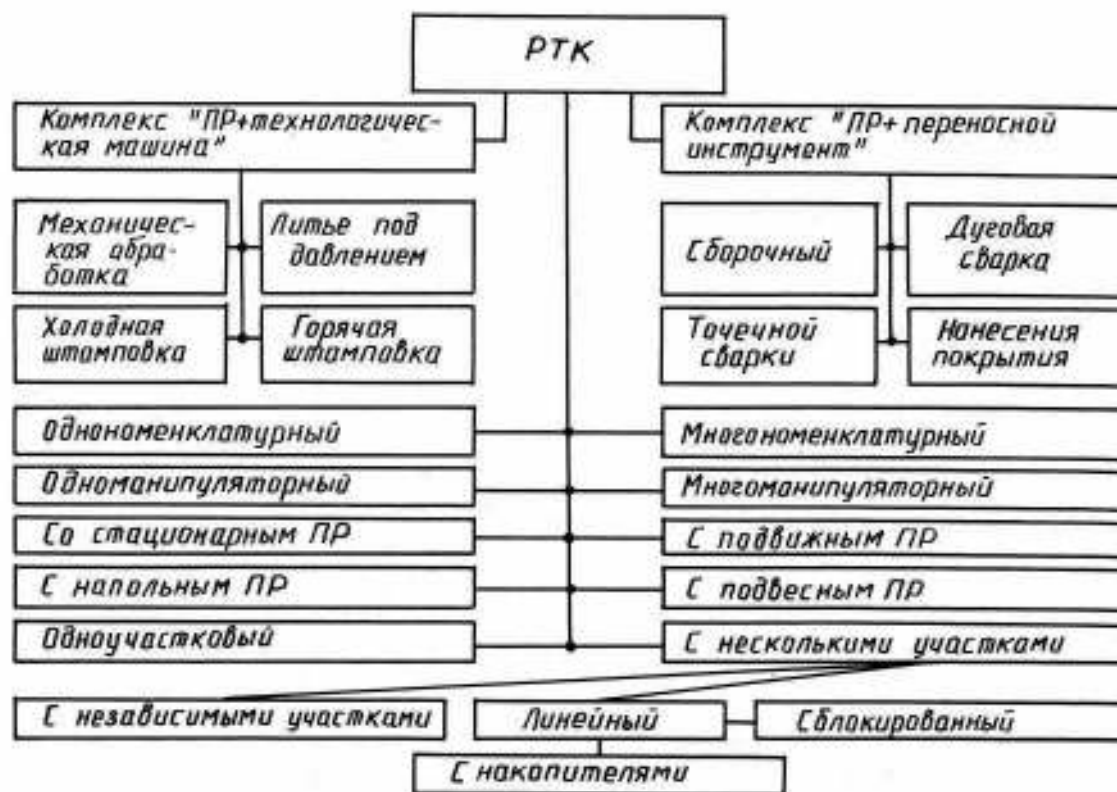


Рис. 79. Виды роботизированных технологических комплексов

В качестве основного оборудования используются различные технологические автоматы: автоматические станки, автоматические прессы, литейные машины, автоматы, перерабатывающие пластмассу и др. Промышленный робот обеспечивает автоматическую загрузку-разгрузку этих автоматов и некоторые дополнительные операции обслуживания: обдув базовых поверхностей, смену инструмента, смазку форм и т.д.

В качестве вспомогательного оборудования в составе РТК могут входить накопители для хранения запаса объектов обработки, устройства первоначальной ориентации объектов обработки, устройства поштучной выдачи, тактовые столы и другое подобное оборудование. Необходимость во вспомогательном оборудовании

определяется ограниченными возможностями как робота, так и основного оборудования.

Современные ПР способны выполнять некоторые технологические операции: окраска, сварка, сборка и др. В этом случае, сам робот выполняет функции основного оборудования. Возможна одновременная согласованная работа нескольких взаимодействующих роботов, взаимодополняющих друг друга при выполнении определенных технологических операций.

Роботизированные технологические комплексы разнообразны и их особенности порождаются многими условиями. Определенное представление о многообразии РТК может дать их классификация, основанная на разных признаках.

По организационному признаку РТК делятся на

- роботизированные технологические ячейки,
- роботизированные технологические участки,
- роботизированные технологические линии.

По виду автоматизируемого технологического процесса различают РТК

- механообработки,
- холодной штамповки,
- литья,
- прессования пластмасс,
- термической обработки,
- гальванической обработки,
- сварки,
- окраски,
- сборки,
- контроля и испытания.

По характеру операций, выполняемых роботом, различают

- РТК с выполнением роботом вспомогательных операций обслуживания основного технологического оборудования,
- РТК с выполнением роботом основных технологических операций без использования другого технологического оборудования.

В зависимости от компоновки различают РТК с компоновкой

- линейной,
- круговой,
- линейно-круговой,
- объемной.

По структурному признаку различают РТК:

- однопозиционные,
- групповые,
- многопозиционные.

Пример РТК для сверления отверстий в деталях, показан на рис. 80. Обработка осуществляется на многошпиндельном автоматическом сверлильном станке 4. Подает детали на станок промышленный робот 1.

На столе станка деталь закрепляется в приспособлении, после чего

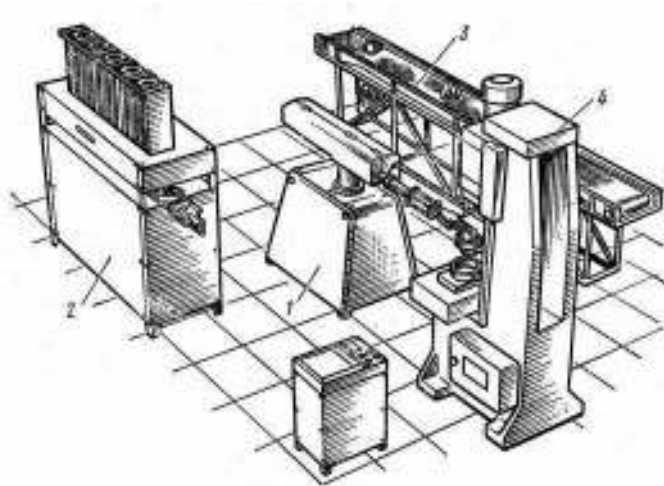


Рис. 80. РТК механической обработки

производится автоматическое сверление необходимых отверстий.

Обработанную деталь робот снимает со станка и укладывает на конвейер 3. Запас заготовок хранится в накопителе 2

магазинного типа. Заготовки хранятся в ориенти-рованном состоянии. Магазин имеет устройство поштучной выдачи заготовок в позицию захвата ПР.

В РТК используется ПР с цилиндрической системой координат, имеющий 4 степени подвижности и пневматический привод. Система управления робота циклового типа. Погрешность позиционирования ПР лежит в пределах $\pm 0,5$ мм.

РТК для укладки заготовок протекторов в стеллажи с мягкой прокладкой, используемый в шинном производстве, показан на рис. 81. РТК состоит из рольганга 1, гидравлического манипулятора 2, гидростанции 3, захвата 4 и пульта управления 5.

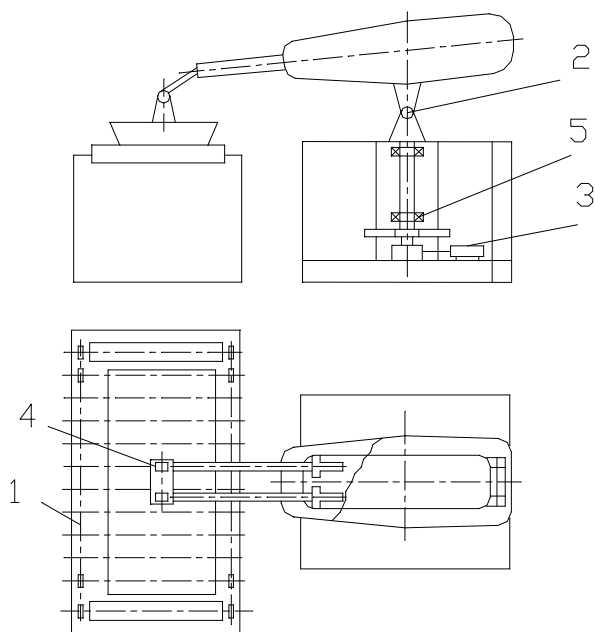


Рис. 81. РТК шинного производства

Манипулятор выполняет функцию перекалывания заготовок протекторов в стеллажи с мягкой прокладкой в технологическом процессе шинного производства.

Рольганг содержит станину, на которой закреплены ролики. Он служит для приёма и остановки заготовки протектора. Привод роликов осуществляется от

гидродвигателя через цепную передачу. Манипулятор выполнен в виде станины, на которой установлены подвижная и неподвижная колонны. При помощи подвижной колонны осуществляется поворот руки манипулятора. На неподвижной колонне установлены направляющая и перемещающаяся рука манипулятора. Движение манипулятора осуществляется при помощи гидродвигателей и

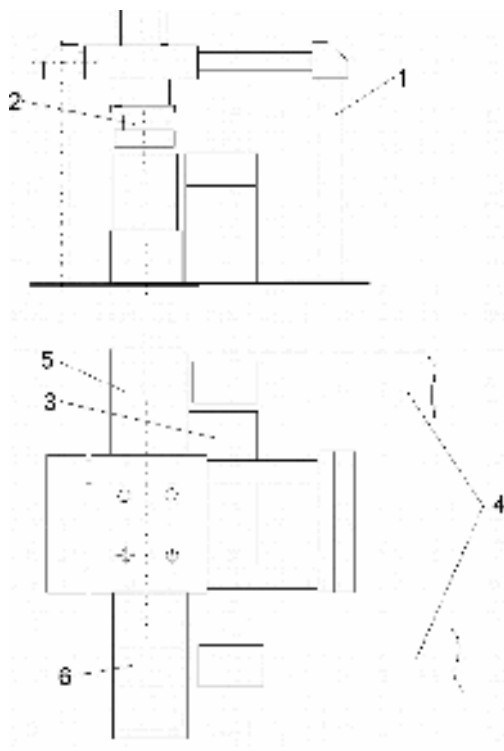


Рис. 82. РТК для перегрузки каучуков

гидроцилиндра. Гидростанция состоит из гидробака, насосной установки, автоматики и гидроаппаратуры.

Захват выполнен в виде рамы с двумя схватами. С помощью пневмоцилиндров производится перемещение схватов, которые в свою очередь могут открываться и закрываться. Управление осуществляется цикловой системой управления. В управлении принимает участие оператор.

Работает РТК следующим образом. Заготовка протектора с транспортера поступает на рольганг. К рольгангу подводится захват с раскрытыми схватами, захват опускается, вилы схвата проходят между роликами рольганга и происходит закрытие захвата. Захват с заготовкой протектора поднимается, а затем поворачивается на угол 100° . Оператор производит опускание руки. Далее происходит сброс заготовки в стеллаж с мягкой прокладкой. Оператор включает кнопку "конец цикла", поднимается рука и манипулятор возвращается в исходное положение. Аналогично производится загрузка стеллажа, стоящего слева относительно рольганга.

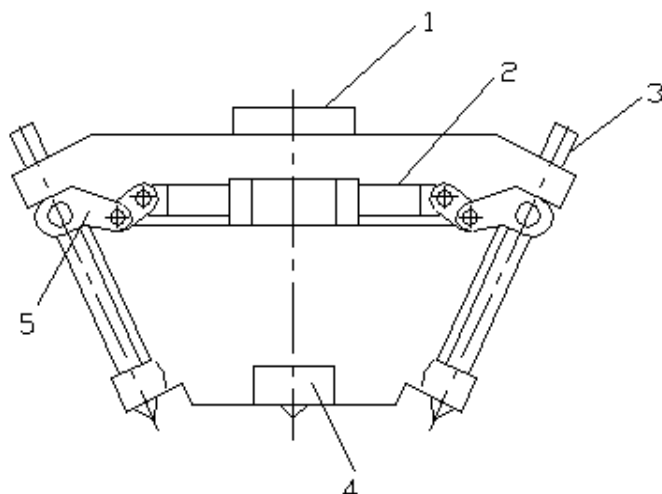


Рис. 83. Схват для кипы каучука

Трудоёмким и сложным с точки зрения механизации и автоматизации является процесс переработки каучуков в шинном производстве. Основной причиной этого является несовершенство форм и методов поставки, упаковки и способов хранения сырья. В результате происходит деформация кип каучуков и потеря их начальной геометрической формы. РТК, показанный на рис. 82, предназначен для выгрузки брикетов каучуков из поддонов (контейнеров) и укладки их на транспортеры у ленточных весов взвешивания и загрузки каучука на линиях изготовления резиновых смесей. Использован ПР портального типа.

Манипулятор 2 робота перемещается по направляющим портала 1. При помощи захвата ПР вынимает из поддона 6 три брикета каучука, переносит их и укладывает на реверсивный рольганг 3. С рольганга брикеты подаются на отборочный транспортёр 4 и далее по нему поступают на развеску.

Проблемой является захват кипы каучука. Для этой цели используется специальный схват, схема которого показана на рис. 83. Захват опускается на поверхность брикета до срабатывания датчика 4, по сигналу которого срабатывает двухсторонний пневмоцилиндр 2.

Усилие от штоков передаётся на рычаги 5 и штыри 3. Штыри 3 своими острыми концами втыкаются в брикет и захватывают его. После переноса брикета в позицию разгрузки происходит обратный ход пневмоцилиндра 2 и брикет сбрасывается на транспортёр. Грузоподъёмность ПР составляет 200 кг, линейные перемещения по вертикали 900 мм, по горизонтали –1100 мм, производительность составляет 3 цикла/мин.

Большое распространение получили робототехнологические комплексы для автоматизации сварки при сборке кузовов автомобилей. Для этой цели используются сложные роботы с контурной системой ЧПУ. На рис. 84 приведена компоновочная схема сварочного РТК фирмы SOMAU с использованием роботов СМАРТ.

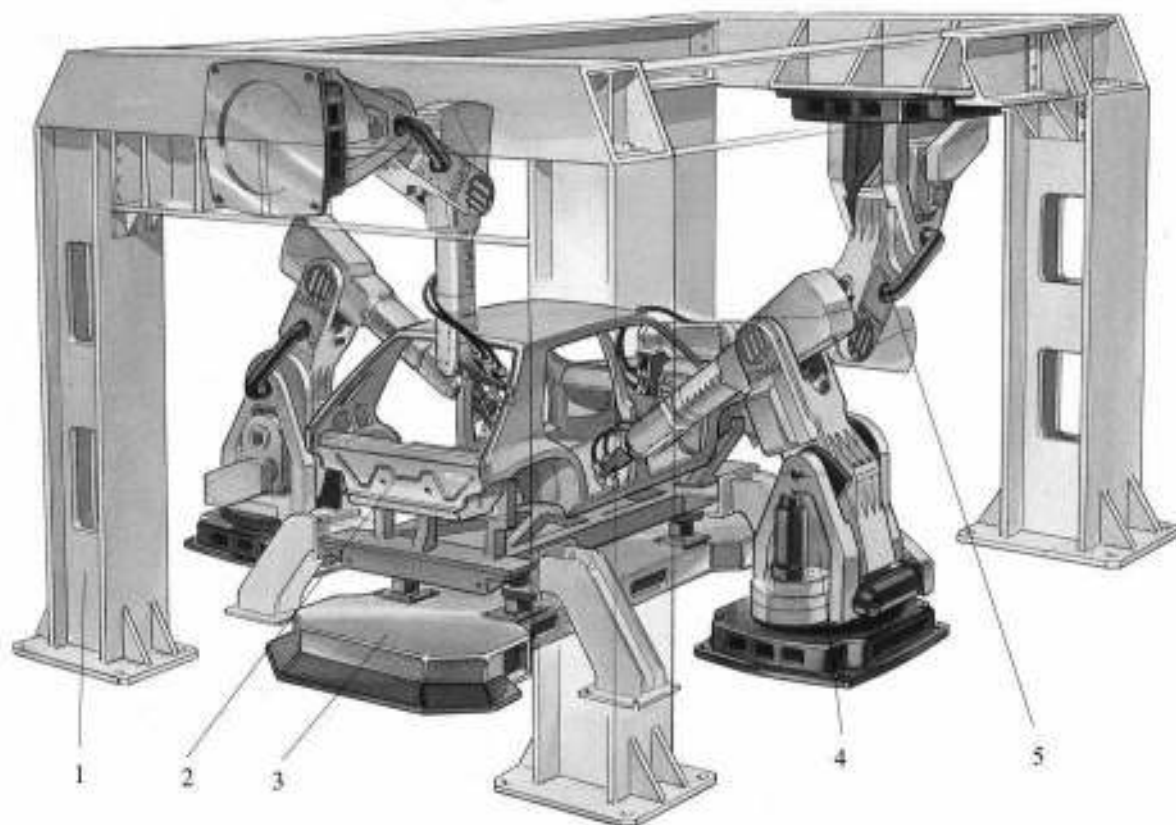


Рис. 84. Сварочный РТК для кузова автомобиля

Заготовки свариваемого кузова 2 с помощью транспортной тележки 3 подаются в РТК. Для сварки используются два напольных робота 4 и два подвесных робота 5, установленных на четырехопорной раме 1. Подвесной вариант установки робота возможен вследствие особенностей конструкции робота СМАРТ, допускающей монтаж в любом положении.

Робот позволяет выполнить весь объем работ, связанных со сваркой отдельных секций кузова: боковых панелей, дверей, капота, пола, а также кузова в сборе.

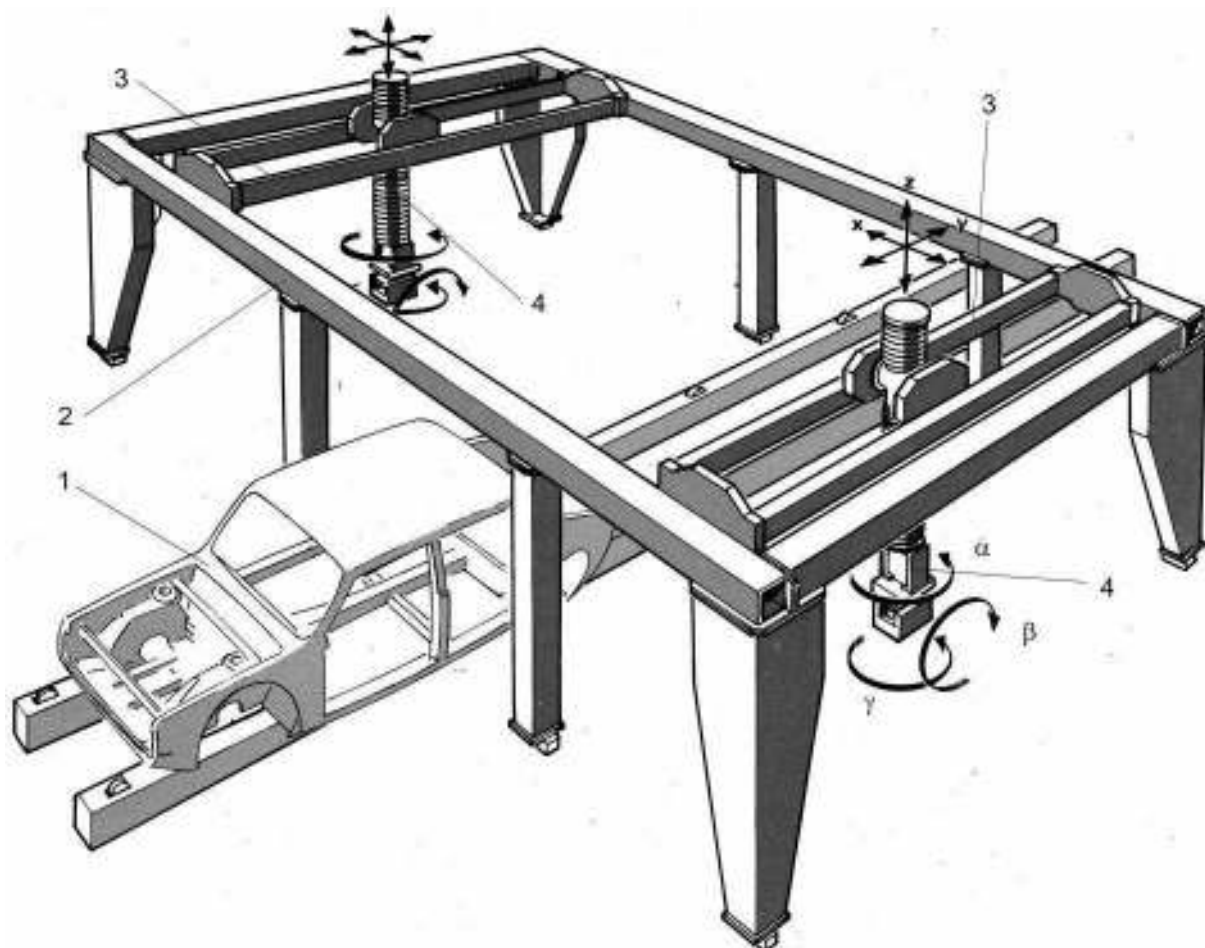


Рис. 85. Сварочный РТК мостовой конструкции

Сварочные РТК разнообразны по компоновке и по типам используемых промышленных роботов. На рис. 85 показана компоновка сварочного роботизированного комплекса фирмы Renault. Заготовки свариваемого кузова 1 транспортной системой подаются в РТК. Основу РТК составляет жесткая мостовая конструкция 2, по которой перпендикулярно кузову перемещаются две каретки 3. На каждой каретке установлен манипулятор 4 промышленного робота, оснащенный сварочной головкой для точечной сварки. Манипулятор

может перемещаться вдоль каретки. Сварочная головка может поворачиваться относительно руки вокруг трех взаимно перпендикулярных осей на углы α , β и γ . Все линейные и угловые перемещения имеют контурное управление от системы ЧПУ.

Промышленные роботы широко используются для автоматизации процессов нанесения защитных и декоративных покрытий на изделия (например, окраска с использованием краскораспылителей), для сборки узлов и законченных изделий, для обслуживания литейных, кузнечных и гальванических технологических машин. Для автоматизации транспортных операций используются транспортные роботы.

Совершенствование роботов идет в направлении улучшения их технических характеристик и повышения эффективности. В роботах всё шире используются системы очувствления, позволяющие придать ему дополнительные функции. Так, системы технического зрения позволяют роботу оценивать производственную сцену для решения поставленной задачи и уточнения алгоритма ее выполнения.

4.4 Гибкие производственные модули

ГПМ является автоматической технологической ячейкой для выполнения различных технологических и производственных

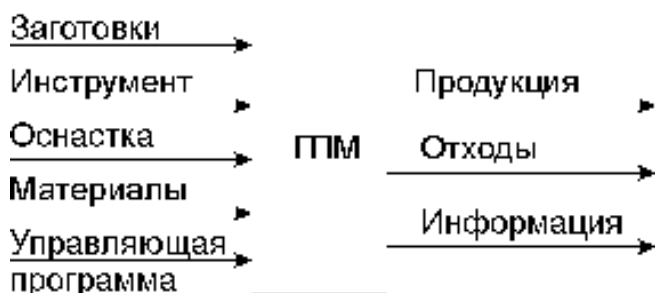


Рис. 86. Технологическая ячейка

процессов (рис. 86). Из внешней технологической среды в ячейку поступают объекты обработки, инструмент, технологическая оснастка, технологические материалы и управляющие программы.

Результатом работы ячейки являются изготовленная продукция, технологические отходы и информация.

Характерной особенностью ГПМ является использование принципа программного управления, обеспечивающего программную перестройку модуля при замене выпускаемой продукции. Этим обеспечивается гибкость модуля.

Стандарт дает следующее определение гибкого производственного модуля. Гибкий производственный модуль – единица технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик с программным управлением, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая все функции, связанные с изготовлением продукции, имеющая возможность встраивания в гибкую производственную систему.

Прежде всего, ГПМ можно разделить по технологическому признаку, в зависимости от назначения: механическая обработка, сварка, окраска, сборка, технический контроль и т.д. Назначение модуля определяет тип используемого в его составе оборудования и особенности компоновки.

В составе ГПМ можно выделить:

- основное технологическое оборудование, реализующее технологические операции, закрепленные за модулем;
- вспомогательное оборудование, обеспечивающее автоматизацию обслуживания основного оборудования;
- устройство связи с внешним материальным потоком (например, с автоматизированной транспортной системой), позволяющее передавать модулю материальные объекты и получать их из модуля (например, локальный накопитель заготовок в составе модуля);
- локальную систему управления, обеспечивающую заданный автоматический рабочий цикл модуля и возможность его перепрограммирования;

- устройство связи локальной системы управления с АСУ ГПС и другими системами.

Состав оборудования ГПМ позволяет автоматически выполнять технологический процесс, программно перестраивать модуль при смене изготавливаемой продукции и встраивать модуль в более сложные технологические системы.

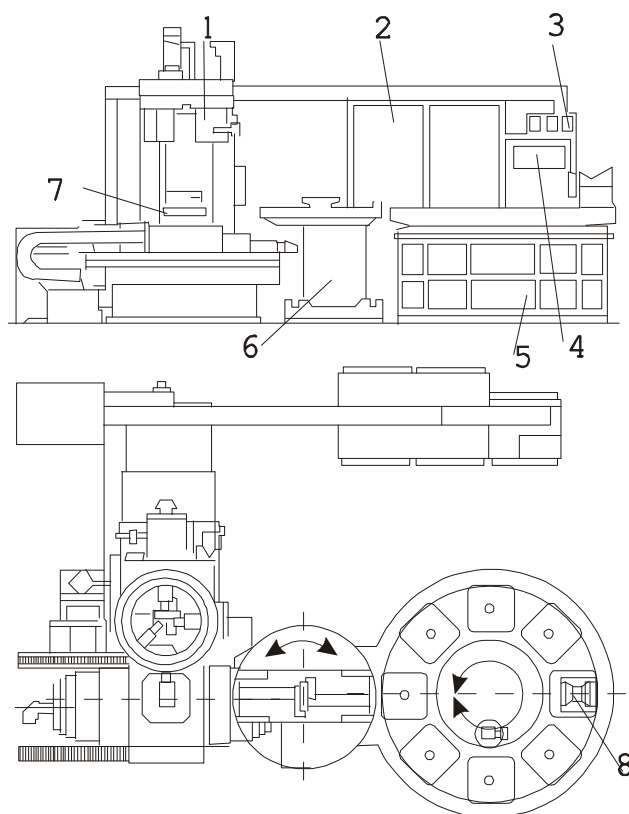


Рис. 87. ГПМ для обработки корпусных деталей

На рис. 87 приведен пример типового ГПМ для механической обработки корпусных деталей, построенного на базе обрабатывающего центра ИР-500МФ4, который рассматривался ранее. В модуле могут обрабатываться сложные детали габаритами до 500×500×500 мм. При этом время обработки одной детали значительно и лежит в пределах от одного до нескольких часов.

В составе модуля можно выделить: обрабатывающий центр 1, шкаф силового электрооборудования 2, электронный блок контрольно-измерительного устройства 3, устройство ЧПУ 4, восьмиместный накопитель спутников 5, приемно-передающий стол 6, автоматическое технологическое приспособление для базирования и закрепления спутников на столе станка 7, инструментальную кассету 8.

Обрабатывающий центр оснащается автоматическим транспортером для удаления стружки, автоматическим ограждением

рабочей зоны и измерительной головкой для контроля точности обработки.

Обрабатываемые заготовки на подготовительном участке устанавливаются на приспособления-спутники, базируются и закрепляются на них. Подготовленные комплекты доставляются к локальному накопителю 5 ГПМ и поочередно устанавливаются в каждую из восьми его позиций.

Код поступившего в накопитель спутника считывается кодовым датчиком, что позволяет идентифицировать обрабатываемую заготовку. В устройство ЧПУ загружается соответствующая управляющая программа.

В модуле использован накопитель карусельного типа с шаговым приводом для поворота. Для загрузки заготовки на станок накопитель поворачивается в позицию, при которой спутник с нужной заготовкой оказывается против приемной позиции приемно-передающего стола 6. После этого спутник с помощью механизма приемно-передающего стола перемещается на приемную позицию последнего, который поворачивается на 180° .

Стол станка перемещается в крайнее правое положение, в результате чего направляющие технологического приспособления станка и приемно-передающего стола совмещаются. Спутник перемещается в технологическое приспособление и закрепляется. После этого стол станка отводится в позицию обработки и начинается обработка.

Во время обработки происходит загрузка очередного спутника на свободную позицию приемно-передающего стола. По завершению обработки спутник с обработанной деталью возвращается на приемно-передающий стол. Последний поворачивается на 180° и выполняется очередной цикл загрузки станка. Одновременно спутник с обработанной деталью удаляется в накопитель. Все описанные действия выполняются автоматически.

Для автоматической замены инструмента в магазине станка используется инструментальная кассета 8, которая на инструментальном участке укомплектовывается необходимым инструментом, устанавливается на спутнике и в потоке спутников с заготовками доставляется в накопитель станка. При необходимости замены инструмента (определяется управляющей программой) спутник с кассетой передается на стол станка и отрабатывается программа обмена инструмента из кассеты и магазина станка.

В процессе обмена шпиндель станка своим конусом захватывает коническую оправку инструментальной наладки, движением вверх вынимает ее из кассеты и перемещается в зону инструментального манипулятора. Последний вынимает из шпинделя инструмент и помещает его в свободное гнездо инструментального магазина. Одновременно манипулятор может переместить ненужный инструмент из магазина в шпиндель станка.

Шпиндель станка перемещается к инструментальной кассете и укладывает инструмент в свободный ложемент кассеты. После этого шпиндель станка может выбрать из кассеты очередной инструмент для передачи в инструментальный магазин. Так происходит до окончания выбора всех инструментов в кассете. В кассету помещается 10 инструментов.

Описанный модуль может использоваться как в составе ГПС, так и автономно. Автономная работа модуля обеспечивается наличием локального накопителя. При автономной работе модуль может функционировать в необслуживаемом режиме в вечернюю и ночную смены, что позволяет существенно увеличить коэффициент загрузки оборудования.

Особенностью ГПМ является возможность его автоматизированной перестройки при изменении объекта и технологического процесса обработки. Основным принцип при этом –

программная перестройка за счет смены управляющей программы устройства управления. Такой принцип позволяет автоматизировать многономенклатурное мелкосерийное производство и существенно увеличить производительность труда.

В обычном мелкосерийном производстве коэффициент использования рабочего времени составляет около 30 %. При использовании ГПМ появляется возможность круглосуточной работы, в том числе и без обслуживающего персонала в ночную смену. В результате, коэффициент использования годового фонда времени может возрасти до 98 %, а размеры предприятия могут быть сокращены в два – три раза.

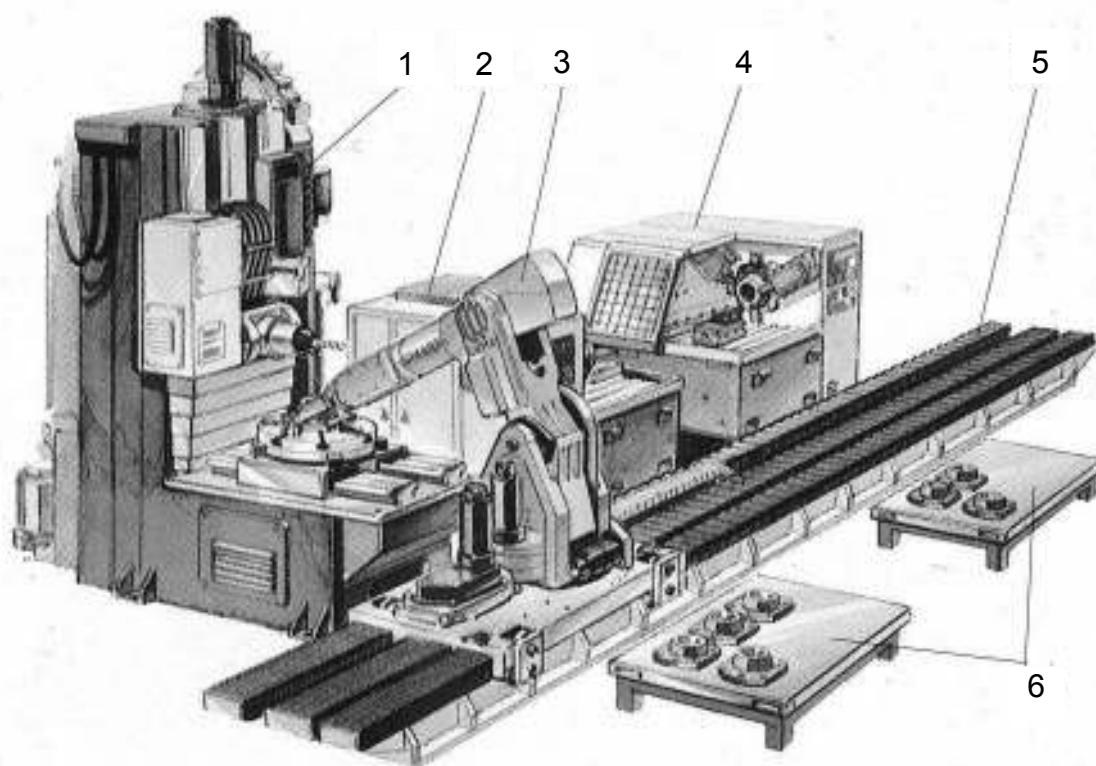


Рис. 88. Многостаночный ГПМ с промышленным роботом

Гибкие производственные модули и гибкие производственные системы на их основе становятся основным средством производства в машиностроении и металлообработке. Оборудование для них производится во всех промышленно развитых странах. Пример

сложного механообрабатывающего ГПМ с промышленным роботом, выполняющим вспомогательные и транспортные операции показан на рис. 88.

В состав ГПМ входит обрабатывающий центр 1 и два автоматических станка 2 и 4. Их обслуживает робот 3, имеющий возможность перемещения вдоль станков по направляющим 5. Робот выполняет загрузку-разгрузку станков и операции межстаночного транспорта. Для взаимодействия с внешней транспортной системой используются столы 6.

Гибкие производственные модули могут применяться для автоматизации различных процессов в различных видах производств. Все эти модули основаны на единой концепции гибкой технологической ячейки. Рассмотрим в качестве примера использование модулей в малотоннажном химическом производстве, где находят применение гибкие аппаратурные модули.

Гибкий аппаратурный модуль – это относительно автономная химико-технологическая система, способная функционировать как самостоятельно, так и в комбинации с другими, подобными ей по принципу организации системами. Аппаратурный модуль состоит из быстро и легко заменяемых основных и вспомогательных технологических аппаратов, которые, в свою очередь, играют роль модулей более низкого уровня.

Аппаратурный модуль обычно проектируют для нескольких технологических процессов. Для этого аппаратурно подобные процессы объединяют в группы, и для каждой из этих групп проектируют гибкий аппаратурный модуль. Модули создаются как для отдельных операций, так и для их групп.

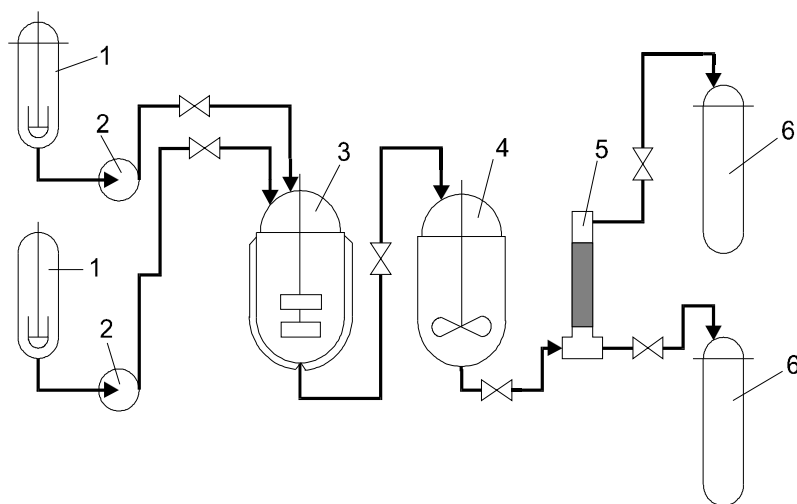


Рис. 89. Гибкий аппаратный модуль

Унифицированный модуль для реализации процессов тонкого органического синтеза показан на рис. 89: 1 – мерники с якорной мешалкой и греющей рубашкой; 2 – дозирующие насосы; 3 – реактор емкостного типа с лопастной мешалкой и рубашкой; 4 – отстойник; 5 – насадочная колонна, 6 – сборники.

Модуль позволяет производить разные продукты по отличающимся технологическим процессам, что определяет его гибкость. Управление технологическим процессом осуществляется от АСУ ТП. Автоматическое регулирование режимных параметров реализуется на ЭВМ с использованием классических законов ПИ- или ПИД - регулирования. Требуемый закон формируется программно из типовых программных модулей.

Модульный принцип аппаратного оформления гибких химико-технологических систем заключается в использовании модулей различных уровней иерархии. Модули самого нижнего уровня представляют собой легко заменяемые конструкционные элементы технологических аппаратов. Из модулей нижнего уровня komponуют аппараты, которые, в свою очередь, являются модулями следующего уровня иерархии. Они имеют необходимые средства для коммутации с другими аппаратами. Комбинируя эти аппараты, формируют аппаратные модули в виде простейших химико-технологических

систем. Из аппаратурных модулей подобным же образом формируют химико-технологические системы любой сложности.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПМ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

5.1 Общие принципы построения ГПМ для механообработки

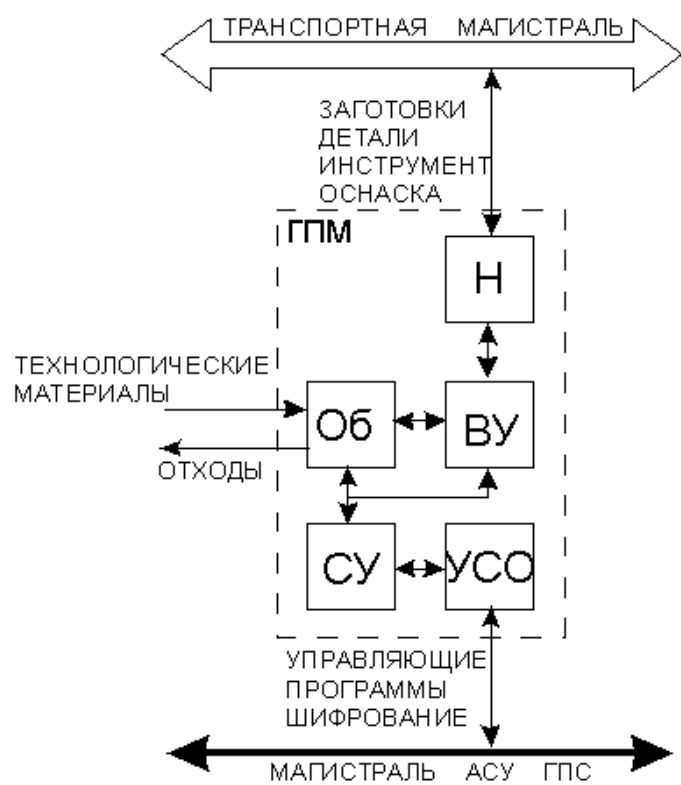


Рис. 90. Структура ГПМ

В связи со значительной трудоёмкостью механической обработки в машиностроении и приборостроении, механообрабатывающие модули получили большое распространение. Основу ГПМ для механической обработки составляет автоматический металлообрабатывающий станок с ЧПУ, отвечающий требованиям гибкости при

смене выпускаемой продукции. Дополнительные устройства, вводимые в состав модуля, обеспечивают автоматическую работу модуля и его автоматическую перестройку на выпуск модернизированной продукции.

Структура ГПМ для механообработки деталей показана на схеме (рис. 90), где выделены следующие элементы: Н – накопитель; Об – единица технологического оборудования; ВУ – внешнее устройство, обслуживающее оборудование; СУ – система управления модуля; УСО – устройство сопряжения объекта с автоматизированной системой управления ГПС (АСУ ГПС). Технологическое

оборудование Об, например металлообрабатывающий станок с ЧПУ, выполняет основные технологические операции обработки деталей. Вспомогательное устройство ВУ обслуживает технологическое оборудование, реализуя функции его загрузки-разгрузки, а также некоторые дополнительные функции: смену инструмента, смену технологической оснастки, переналадку и др. В качестве ВУ может применяться, например, промышленный робот.

Необходимые для работы модуля материальные предметы (заготовки, инструмент, технологическая оснастка) поступают в модуль извне через накопитель Н, обеспечивающий накопление и временное хранение этих предметов. Через этот же накопитель Н из модуля выдаются обработанные детали, использованный инструмент и оснастка.

Управление модулем осуществляется от локальной системы управления (СУ), которая в общем случае может включать систему ЧПУ технологического оборудования и систему управления вспомогательными устройствами (например, систему управления промышленным роботом). При использовании ГПМ в составе ГПС система управления оснащается устройством сопряжения (УСО) с системой управления более высокого уровня иерархии, через него происходит обмен управляющими программами и информацией о состоянии и результатах работы ГПМ. УСО обеспечивает информационный поток между ГПМ и АСУ ГПС.

Для работы оборудования необходимы некоторые технологические материалы. Так, например, для работы металлообрабатывающих станков нужны смазочно-охлаждающие жидкости. Кроме того, в процессе работы ГПМ возникают технологические отходы (например, стружка), которые необходимо удалять. Поэтому в составе ГПМ должны быть соответствующие

устройства и системы, выполняющие функции снабжения ГПМ технологическими материалами и удаляющие отходы производства.

В общем случае ГПМ можно представить в виде технологической ячейки, в которую извне подаются заготовки, инструмент, оснастка, технологические материалы и управляющие программы, и в которой происходит формообразование детали. В результате осуществления техпроцесса ГПМ выдаёт обработанные детали, технологические отходы и информацию о своём состоянии.

Для поддержания работоспособности ГПМ и обеспечения заданных его параметров модуль нуждается в сервисном обслуживании.

При встраивании в ГПС поток материальных предметов, необходимых для работы модуля, обеспечивается автоматизированной транспортной системой (АТС) ГПС, с которой модуль должен быть совместим. Это требование выполняется за счет соответствующих конструктивных решений накопителя Н модуля. Информационный поток между модулем и АСУ ГПС создается при подключении системы управления модуля СУ к информационной магистрали АСУ ГПС. При этом должна быть обеспечена информационная совместимость модуля с АСУ ГПС.

5.2 Выбор обрабатывающего оборудования ГПМ

В качестве основного технологического оборудования в механообрабатывающих ГПМ используются металлорежущие станки. К станку предъявляются требования высокой степени автоматизации процесса обработки и гибкости, т.е. обеспечения автоматизированной перенастройки станка при смене обрабатываемой детали. Этим двум требованиям одновременно отвечают металлообрабатывающие станки с ЧПУ, которые являются основным видом оборудования для ГПМ механообработки.

Для использования станка в составе ГПМ необходимо автоматизировать следующие функции:

- переналадку станка на изготовление детали нужного типоразмера;
- загрузку заготовок и выгрузку обработанной детали;
- контроль и коррекцию режимов технологического процесса;
- контроль геометрических параметров обрабатываемых деталей;
- контроль состояния инструмента;
- замену сломанного, изношенного или ненужного инструмента;
- сбор и удаление отходов технологического процесса;
- контроль наличия, расхода и других параметров используемых технологических материалов (технологических сред);
- диагностику узлов станка и его системы управления;
- связь с более высоким уровнем управления.

При проектировании ГПМ выбирают станки, у которых перечисленные функции могут выполняться автоматически, или производят небольшую модернизацию станка для автоматизации этих функций. На выбор оборудования влияет тип обрабатываемой детали. С этой точки зрения механообрабатывающие ГПМ можно разделить на две группы:

- ГПМ для обработки деталей типа «тел вращения»;
- ГПМ для обработки корпусных деталей.

В ГПМ первой группы используются токарные станки с ЧПУ: центровые, патронно-центровые, патронные. Требованиям работы в составе ГПМ наиболее полно отвечают станки моделей 16К2ОФ3, 16К3ОФ3, ИРТ18ОПМФ4, 1И61П1МФ3, 16Б16Ф3, 1713Ф3, 172ОФ30, КТ141, 1П42ОПФ40 и другие.

Высокую степень автоматизации имеет многоцелевой токарный станок с ЧПУ модели ИРТ18ОПМФ. Этот станок оснащен, в частности, системой автоматической смены инструмента и измерительной головкой выдвижного типа, предназначенной для

контроля размеров инструментов в сменном диске revolverной головки. На станке можно выполнять операции точения, фрезерования, сверления, растачивания и нарезания резьбы.

Двухкоординатный суппорт станка оснащен 12-позиционной revolverной головкой с горизонтальной осью вращения. Трехкулачковый самоцентрирующийся патрон с быстросменными комплектами кулачков обеспечивает быструю переналадку станка. Станок имеет герметичное ограждение рабочей зоны и автоматический конвейер для уборки стружки, расположенный непосредственно под зоной резания.

Для автоматической смены инструментальных барабанов на revolverной головке используется отдельный накопитель, в котором возможно производить переналадку таких барабанов во время работы станка. В инструментальном барабане вместе с инструментом устанавливается измерительная головка для автоматического контроля размеров заготовки и обрабатываемой детали.

При проектировании ГПМ для обработки корпусных деталей используются сверлильно-фрезерно-расточные станки с ЧПУ или обрабатывающие центры (ОЦ). Наиболее приспособлены для работы в составе ГПМ ОЦ моделей ИР32ОПМФ4, ИР50ОМФ4, ИР80ОМФ4, 2110Н7Ф4, 2204ВМФ4, 2256ВМФ4, 65А6ОМФ4, СМ40ОФ45, СМ63ОФ44.

5.3 Проектирование модулей для обработки тел вращения

5.3.1 Компоновка модулей

Для обработки тел вращения в составе ГПМ используется операционный станок с ЧПУ токарной группы. Автоматизация загрузки и разгрузки такого станка производится с помощью промышленного робота. ПР может при этом выполнять также некоторые другие функции обслуживания. Могут быть использованы порталные, напольные и встроенные ПР. Тип применяемого ПР

определяет общую компоновку ГПМ. Рассмотрим ряд типовых компоновок ГПМ в составе «операционный станок с ЧПУ – промышленный робот».

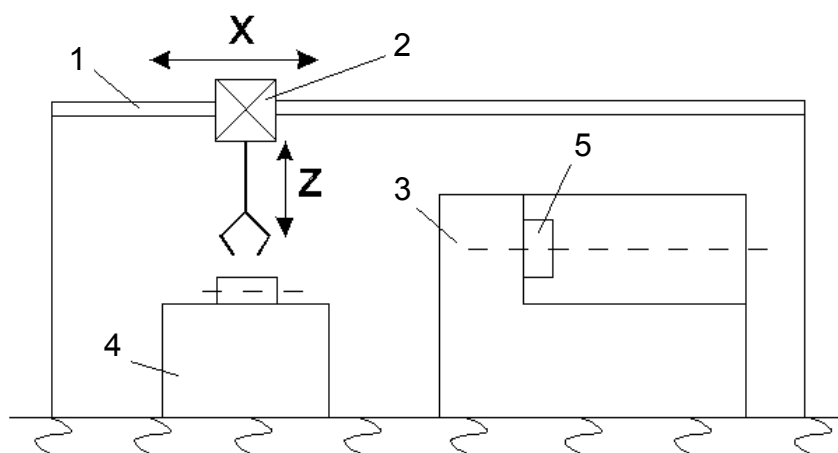


Рис. 91. ГПМ с порталным роботом

Линейная
однорядная
компоновка ГПМ
на базе
портального ПР
(рис. 91, где
обозначены
следующие
элементы: 1 –
портал ПР; 2 –

манипулятор

ПР;

3 – станок с ЧПУ; 4 – накопитель; 5 – шпиндель станка). Портал 1 ПР при данной компоновке располагается над обслуживаемым оборудованием таким образом, что координатная плоскость OXZ рабочих перемещений робота проходит через ось шпинделя 5 станка 3 (предполагается станок токарной группы с горизонтальной осью шпинделя). При этом накопитель 4 располагается в одну линию со станком 3. Рабочая зона ПР должна включать рабочие зоны накопителя и станка.

Для реализации линейной компоновки ГПМ может быть использован порталный ПР с плоской системой координат. ПР обеспечивает загрузку-разгрузку станка и его связь с накопителем. При линейной компоновке в состав ГПМ обычно входит только один станок, что определяется ограниченными размерами портала ПР. Линейная многорядная параллельная компоновка (рис. 92, где 1 – портал ПР; 2 – манипулятор ПР; 3 – станок; 4 – накопитель) имеет больше возможностей.

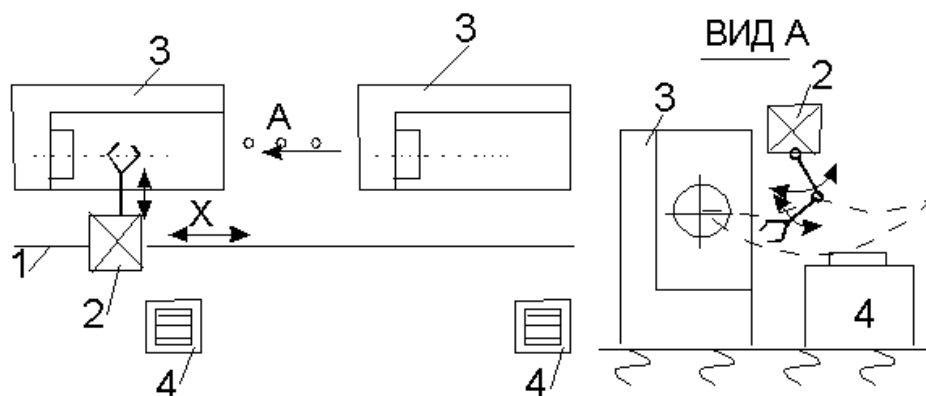


Рис. 92. Двухрядная параллельная компоновка

В ГПМ используется порталный ПР с многозвенной рукой. Его рабочая зона располагается по обе стороны портала, что позволяет устанавливать обслуживаемое оборудование по обе стороны от портала и тем самым увеличивать число обслуживаемых единиц оборудования. В результате появляется возможность создания многостаночных ГПМ.

Достоинством ГПМ с порталным ПР является экономия производственных площадей и возможность обработки крупногабаритных деталей (массой до 300 кг). В то же время описанные компоновки пригодны в основном для обслуживания станков с горизонтальной рабочей осью. Портальные ПР могут быть многорукими, что увеличивает их производительность.

На рис. 93 показан компоновочный чертеж токарного гибкого производственного модуля фирмы MAX MULLER с порталным роботом. Накопитель заготовок и токарный станок расположены в один ряд. Промышленный порталный робот обеспечивает перемещение заготовки и обработанной детали и установку заготовки в автоматический патрон станка. Максимальная длина портала составляет 6990 мм. Максимальная грузоподъемность робота – 40 кг. Скорость перемещения – 60 м/мин. Робот может перемещать заготовки диаметром до 250 мм и длиной до 600 мм.

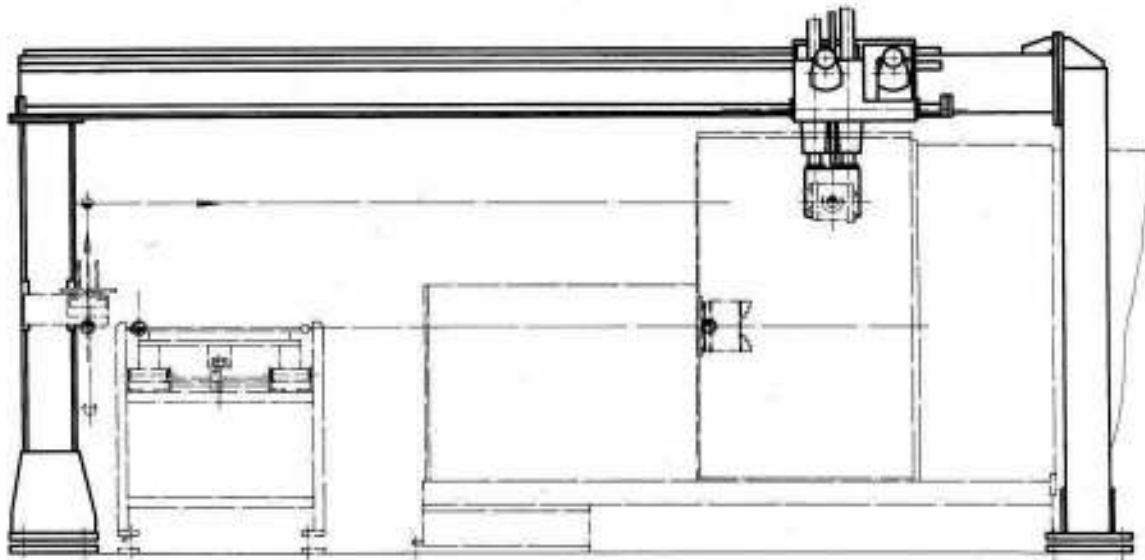


Рис. 93. ГПМ с порталным роботом и токарным станком с ЧПУ

Значительные возможности при построении ГПМ дает использование напольного робота с цилиндрической или сферической системой координат при круговом расположении обслуживаемого оборудования относительно ПР (рис. 94). При круговой компоновке ПР 1 устанавливается в центре, а вокруг него размещаются накопитель 2 и обрабатывающие станки 3. ПР должен иметь достаточную рабочую зону для обслуживания установленного оборудования. В известных ГПМ одновременно используются до пяти станков.

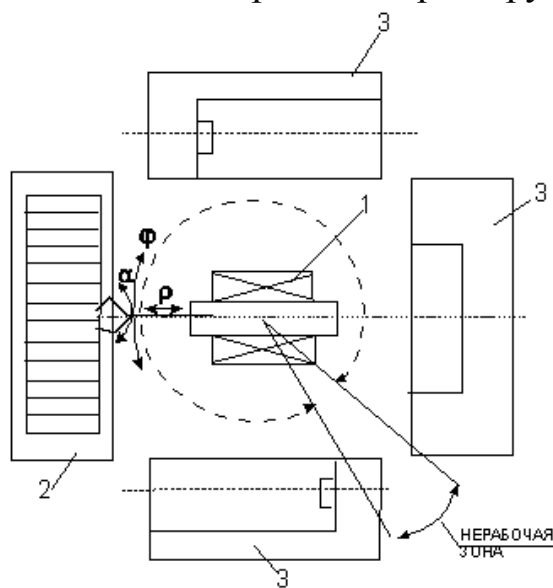


Рис. 94. Круговая компоновка

При круговой компоновке ПР 1 устанавливается в центре, а вокруг него размещаются накопитель 2 и обрабатывающие станки 3. ПР должен иметь достаточную рабочую зону для обслуживания установленного оборудования. В известных ГПМ одновременно используются до пяти станков.

При компоновке ГПМ напольные ПР могут устанавливаться на вспомогательные стойки или на технологическое оборудование (рис. 95, где 1 – станок; 2 – робот; 3 – накопитель; 4 – стойка ПР). В рассматриваемом варианте использован ПР с цилиндрической системой координат, ось Z которой располагается

горизонтально (это должно допускаться конструкцией ПР). Возможна установка ПР непосредственно на переднюю бабку токарного станка.

К ПР, входящему в состав ГПМ, предъявляются требования гибкости, что прежде всего означает возможность автоматического перепрограммирования его рабочего цикла и перенастройку для манипулирования с объектами различной конфигурации.

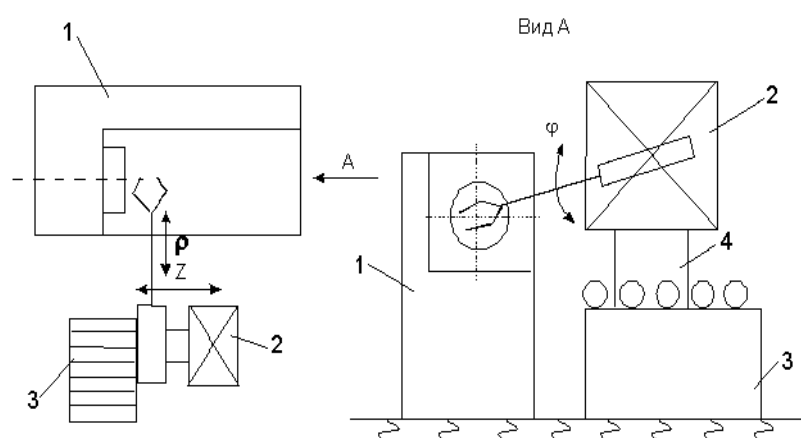


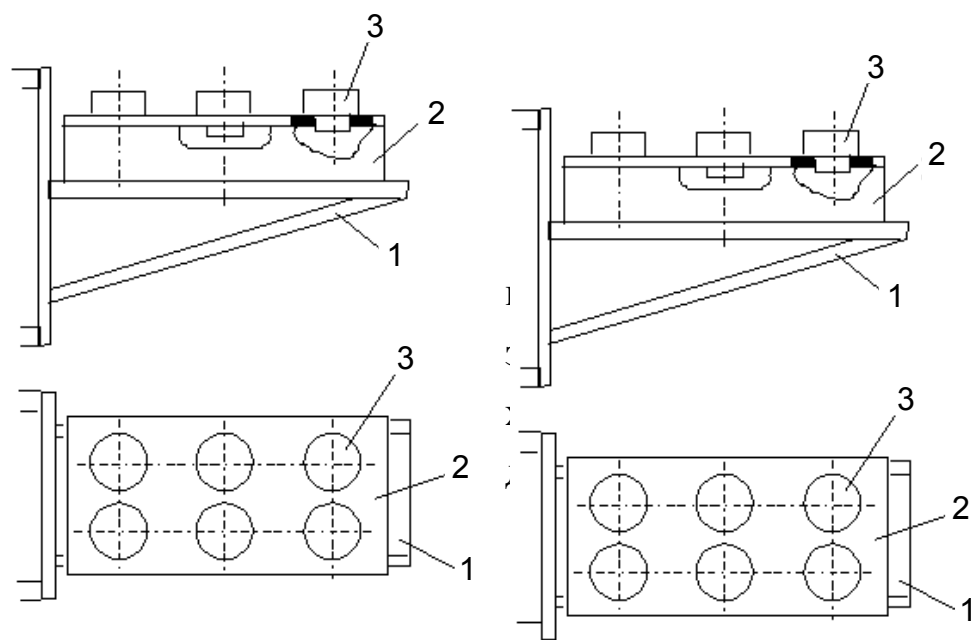
Рис. 95. Варианты компоновки ГПМ с ПР

Первому

условию отвечают ПР с ЧПУ, имеющие средства адаптации к изменяющимся условиям функционирования.

Возможность работы с различными

предметами манипулирования (заготовки, детали, инструмент, оснастка) обеспечивается либо созданием универсальных широкодиапазонных захватов манипулятора, либо обеспечением возможности автоматической смены захватов, хранящихся в специальных магазинах. Такие быстросменные захваты автоматически заменяются в ходе отработки рабочего цикла ПР под управлением рабочей программы.



ГОТОВК

став модуля приём извне и временное обработанных обработанных

Рис. 96. Кассетный накопитель

деталей автоматизированной транспортной системе. В качестве накопителей используются многоместные приёмно-передающие столы или различного рода магазины. Накопитель должен обладать достаточной ёмкостью, обеспечивать заданную ориентацию заготовок и деталей в заданных пределах.

На рис. 96 показан пример кассетного накопителя, используемого в ГПМ на базе станка 16К2ОФ3 для обработки ступенчатых дисков массой до 3 кг и диаметром до 150 мм. Накопитель выполнен в виде кронштейна 1, крепящегося к станине станка, на которую устанавливается многоместная кассета 2 с заготовками 3.

Заготовки располагаются в шахматном порядке в направляющих отверстиях, выполненных в верхней плите кассеты. Для выбора

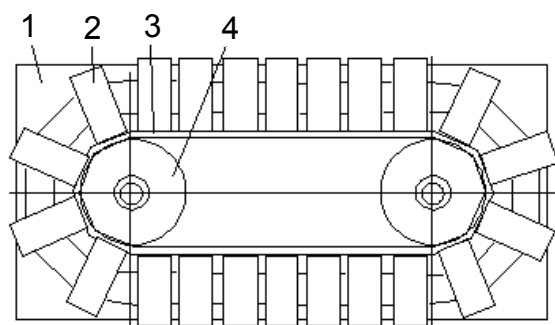


Рис. 97. Цепной накопитель

заготовок из гнёзд кассеты ПР должен обеспечить

последовательное позиционирование в очередную позицию захвата, что достигается, например, использованием

позиционной системы ЧПУ ПР.

После обработки всей партии деталей кассета заменяется целиком. Для деталей разной конфигурации используются кассеты с различным исполнением базирующих элементов: отверстия, штыри, прорези и др..

Более сложен накопитель конвейерного типа (рис. 97). Основание 1 накопителя устанавливается на полу. На основании 1 установлены грузонесущие площадки 2, которые могут перемещаться по направляющим. Площадки 2 связаны цепью 3, охватывающей звёздочки 4. Со звёздочками 4 соединён шаговый привод, за один цикл работы которого грузонесущие площадки перемещаются на один

шаг и в позицию захвата ПР подаётся очередная площадка с установленной на ней заготовкой.

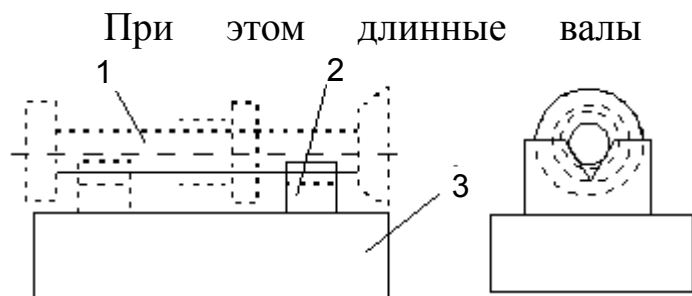


Рис. 98. Дополнительное базирование

При этом длинные валы могут устанавливаться на грузонесущую площадку с помощью промежуточных призм (рис. 98, где 1 – заготовка вала; 2 – призма; 3 – грузонесущая площадка).

5.3.3 Закрепление обрабатываемых деталей

Для автоматизации зажима заготовок в шпинделе токарного станка при его загрузке используются быстрозажимные патроны с механическим приводом. Однако такие патроны, как правило, обладают малым диапазоном зажимаемой детали, что создаёт трудности при переходе к обработке деталей с изменившимся диаметром зажима. Решение этой задачи достигается применением промежуточных патронов, автоматической заменой зажимных кулачков патрона с использованием промышленного робота и применением быстросменного автоматических патронов.

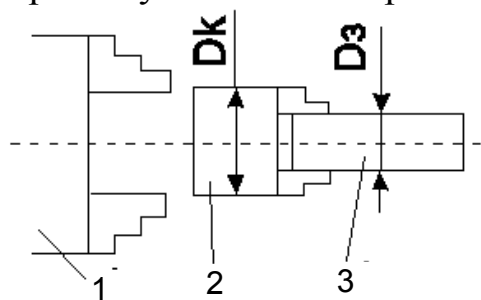


Рис. 99. Промежуточный патрон

В первом случае обрабатываемые заготовки предварительно вручную закрепляются в промежуточном патроне

со стандартной посадочной частью, за которую этот промежуточный патрон зажимается в патроне станка (рис. 99, 1 – быстрозажимной патрон станка; 2 – промежуточный вспомогательный патрон; 3 – заготовка; D_k – диаметр зажима промежуточного патрона; D_3 – диаметр заготовки). Промежуточный патрон выбирается для конкретной конфигурации заготовки и может быть двух-, трёх-, четырёх- или шестикулачковым, рассчитанным на зажим как по

наружному, так и по внутреннему диаметрам. Точность установки заготовок с использованием промежуточного патрона достаточно высока и погрешность зажима лежит в пределах 20 мкм.

Недостатком системы является необходимость в трудоёмкой ручной операции предварительного закрепления заготовок в промежуточном патроне и последующего освобождения обработанных деталей.

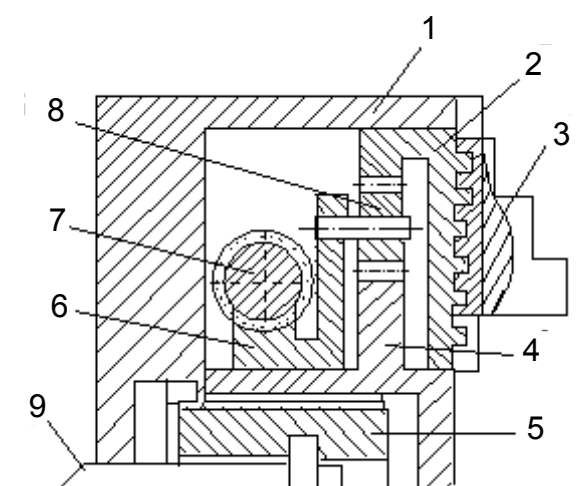


Рис. 100. Переналаживаемый патрон

Чаще в токарных станках ГПМ для обработки тел вращения используются быстропереналаживаемые кулачковые патроны с механическим приводом (рис. 100).

В корпусе 1 по направляющим перемещаются кулачки 3, привод которых осуществляется диском 2 с торцевой спиралью. Диск 2 имеет зубчатый венец внутреннего закрепления, с которым зацепляются сателлиты 8. Водило сателлитов соединено с червячным колесом 6, которое входит в зацепление с червяком 7, образуя самотормозящую червячную передачу.

При вращении снаружи ключом головки червяка 7, последний поворачивает водило сателлитов, которые, обкатываясь по центральному зубчатому колесу 4, поворачивают спиральный диск 2. Это является наладочным перемещением кулачков 3 на требуемый диаметр зажима заготовки.

Механизм быстрого зажима и разжима кулачков обеспечивает небольшой их рабочий ход и включает центральное зубчатое колесо 4, шлицевую втулку 5 с винтовыми шлицами и тягу 9 механизированного привода, закрепленного на заднем конце

шпинделя станка. При движении тяги 9 влево вместе с ней движется и втулка 5, поворачивая своими винтовыми шлицами центральное колесо 4 планетарной передачи. При этом водило 6 остаётся неподвижным, а сателлиты 8 вращаются и поворачивают спиральный диск 2, обеспечивая рабочий ход кулачков. Разжим кулачков происходит при перемещении тяги 9 вправо.

Описанный патрон требует ручной наладки на конкретный диаметр зажимаемой заготовки. Однако трудоёмкость такой переналадки невелика. Используются и другие способы автоматизации зажима обрабатываемых заготовок.

В патроне, изображенном на рис. 101, а, под управлением устройства ЧПУ станка происходит автоматическая переналадка

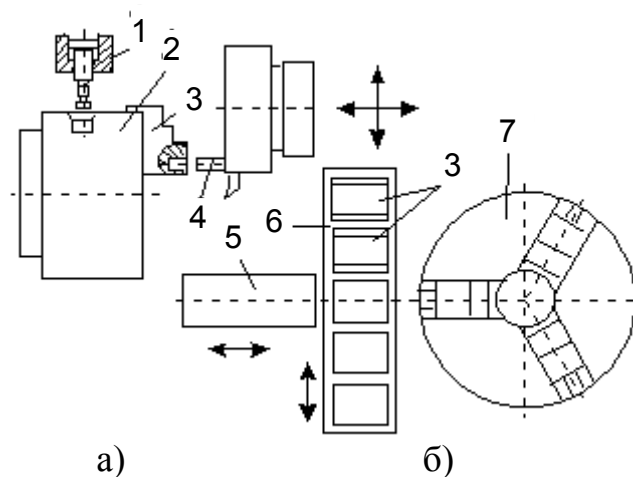


Рис. 101. Переналадка патронов

кулачков. Шпиндель станка поочерёдно фиксируется в трёх положениях, при которых шток поршня цилиндра 1 располагается соосно с одним из трёх отверстий патрона 2. При ходе штока вниз он выводит клиновую штангу из зацепления с зубцами кулачка 3.

После этого захват 4, установленный в одной из этих позиций револьверной головки, подходит к торцу патрона, входит в торцевое отверстие кулачка и перемещает последний в радиальном направлении на требуемую величину. После чего поршень цилиндра 1 возвращается в исходное положение, обеспечивая зацепление клиновой штанги с кулачком патрона и его фиксацию в требуемом положении.

Автоматическая смена кулачков патрона, заранее настроенных на нужный размер, показана на схеме (рис. 101, б). Сменные кулачки 3

располагаются в магазине 6 и автооператором 5 перемещаются в патрон 7 станка.

5.3.4 Смена инструмента

Токарные станки с ЧПУ оснащаются инструментальными магазинами и revolverными головками, в которые устанавливается обрабатывающий инструмент. При этом, как правило, перед установкой производится размерная настройка инструмента вне станка. При использовании станка в ГПМ возникает необходимость автоматизации замены инструмента в магазине и revolverной головке вследствие его износа или поломки, а также при переналадке станка на обработку детали иной конфигурации.

Замена инструмента при обработке деталей может осуществляться следующими способами:

- дублированием инструментов в инструментальном магазине и в инструментальной головке и вводом в работу инструмента при износе или поломке основного инструмента;
- сменой отдельных инструментов в инструментальном магазине или в инструментальной revolverной головке по мере их выхода из строя или при отсутствии потребности в данном инструменте для дальнейшей обработки;
- полной заменой инструментального магазина или revolverной головки на новые, оснащенные новым комплектом инструмента.

Способ дублирования инструмента позволяет в процессе обработки партии деталей автоматически перейти на инструмент-дублёр при поломке или затуплении основного инструмента. При этом станок должен быть оснащен автоматической системой диагностики инструмента, а сам процесс замены инструмента осуществляется за счёт штатных, управляемых программой, движений инструментального магазина и revolverной головки. Дополнительных устройств при этом не требуется.

Способ замены инструмента в инструментальном магазине или в револьверной головке позволяет не только заменить новыми изношенные или сломанные инструменты, но и изменить состав обрабатывающих инструментов на станке при изменении конфигурации обрабатываемой детали. Для такой замены используются специальные инструментальные манипуляторы, вводимые в состав ГПМ, или ПР, осуществляющий загрузку-разгрузку станка. В последнем случае функции ПР существенно расширяются и к его возможностям предъявляются повышенные требования. Недостатком способа замены отдельных инструментов является сложность его технического осуществления и большое время, затрачиваемое на комплектацию инструмента в магазине или револьверной головке, что снижает производительность станка.

Замена инструментального магазина или револьверной головки целиком требует минимального времени при переналадке станка и сравнительно просто осуществляется в автоматическом режиме. В этом случае также применяются инструментальные манипуляторы или специальные устройства смены магазина и револьверной головки. Недостаток способа заключается в невозможности полного использования индивидуальной стойкости каждого обрабатывающего инструмента, поскольку все инструменты приходится заменять одновременно, ориентируясь на худший случай.

Для получения оптимальных характеристик системы смена инструмента ГПМ следует комбинировать все три способа, что, однако, приводит к усложнению конструкторских решений системы.

Одним из возможных решений инструментальной системы ГПМ является размещение у станка дополнительного инструментального магазина с запасом инструментов, из которого ПР, обслуживающий станок, по мере надобности извлекает необходимые инструменты и переносит их в инструментальный магазин станка или в его револьверную головку. В дополнительный инструментальный магазин

также помещается сломанный или отработавший инструмент, снимаемый со станка. Дополнительные инструментальные магазины крепятся на специальных кронштейнах или стойках.

Основными частями магазина барабанного типа (рис. 102) являются корпус 1 и инструментальный барабан 4. В барабане 4 выполнены направляющие гнёзда, в которые устанавливаются инструменты 6, имеющие стандартные оправки. Вал 2

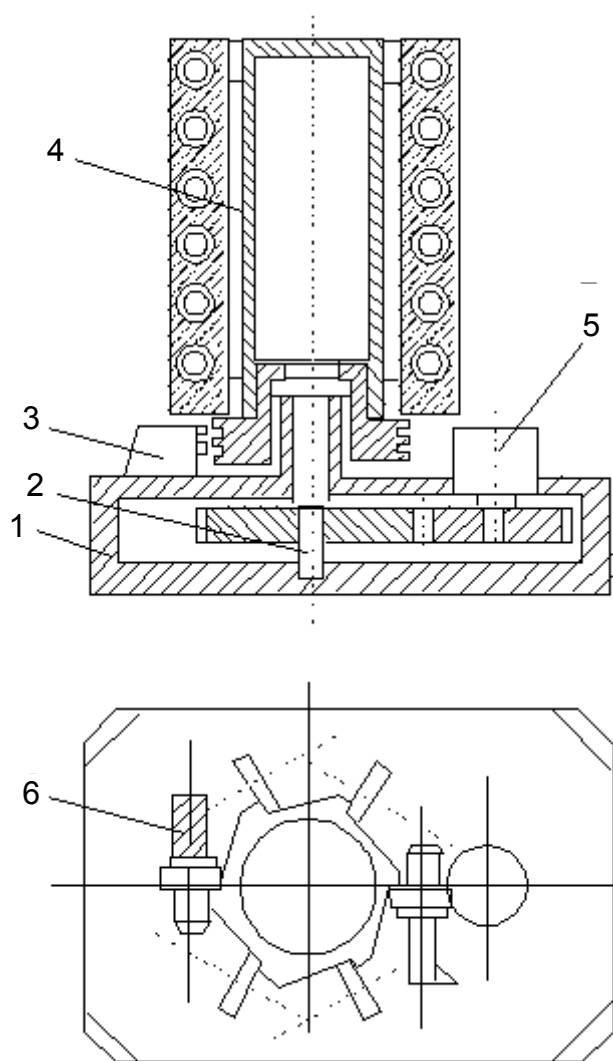


Рис. 102. Инструментальный магазин

инструментального барабана через редуктор соединён с валом электродвигателя 5. Привод обеспечивает поворот барабана 4 вокруг оси с фиксацией его в шести положениях. Для фиксации барабана служит устройство 3, в состав которого входит также кодовый датчик позиции инструментального магазина.

Для подачи нужного инструмента на станок система управления выдаёт команду приводу магазина для установки позиции, в которой находится искомый инструмент, в позицию захвата ПР, а ПР, осуществляя позиционирование по высоте, находит нужный инструмент в

вертикальном ряду и извлекает его из магазина. Определение нужной позиции инструментального барабана 4 происходит с помощью кодового датчика в устройстве 3.

5.3.5 Удаление отходов

Основным видом отходов в механообрабатывающем модуле является стружка, которую следует регулярно удалять из модуля, чтобы обеспечить его бесперебойную работу в автоматическом режиме.

При этом можно выделить

- удаление стружки из зоны резания;
- очистку от стружки базирующих и зажимных элементов технологической оснастки;
- удаление стружки за пределы ГПМ.

Решение первой задачи упрощается за счёт конструктивных особенностей станков токарной группы, поскольку их станины открыты. Часто станины выполнены с наклонным расположением направляющих и не мешают стружке падать вниз на поддон станка или в стружкоприёмник. Интенсификация процесса удаления стружки достигается подачей в зону обработки смазочно-охлаждающейся жидкости под давлением, которая смывает остатки стружки. При этом хорошо удаляется дробленая стружка. Чтобы избежать появления витой стружки используют известные технологические приёмы: выбор специальной геометрии инструмента и режимов обработки, применение инструмента с устройством для дробления стружки, программное прерывание подачи инструмента в процессе резания.

Для очистки от стружки базирующих и зажимных элементов технологической оснастки они дополнительно автоматически обмываются перед установкой заготовки или инструмента или обдуваются сжатым воздухом с помощью специальных сопел. Известны технические решения, когда сопло со сжатым воздухом устанавливается на схват ПР, осуществляющего загрузку заготовки в патрон токарного станка. При установке заготовки в сопло подаётся воздух, струёй которого обдуваются зажимные поверхности кулачков патрона станка.

Удаление накапливающейся стружки из рабочей зоны станка производится стружкоуборочными транспортёрами, которыми оборудуется станок в составе ГПМ. При этом стружка, удалённая из зоны резания, попадает в стружкоприёмник, откуда транспортёром переносится в сменную тару, устанавливаемую вне станка. Стружкоуборочные транспортёры имеют различные конструкции. Наибольшее применение получили шнековые и скребковые транспортёры стружки. При наполнении тары стружкой она заменяется свободной, а заполненная тара удаляется из ГПМ транспортной системой.

5.4 Модули для обработки тел вращения

На рис. 103 показана схема типового токарного модуля на базе станка 16K20Ф3С18 (а – планировка модуля; б – схема установки промышленного робота). Токарный станок 1 (рис. 103, а) оснащён промышленным роботом 2 модели НЦ-ТМ-01 и устройством для удаления стружки, включающем скребковый транспортёр и ёмкость 3. Управление модулем производится от устройства ЧПУ 4. Для приёма извне заготовок и выдачи обработанных деталей служит приёмно-накопительное устройство 5, в котором заготовки располагаются в ориентированном положении. Промышленный робот осуществляет функции загрузки-разгрузки рабочего шпинделя станка.

На передней бабке станка 1 (рис. 103, б) устанавливается основание 2 промышленного робота. Корпус 3 ПР может перемещаться относительно основания в направлении оси рабочего шпинделя. ПР имеет цилиндрическую систему координат и его рука 4 несёт двойной поворачивающейся схват 6, ось поворота которого расположена под углом 45° к оси шпинделя станка. Наличие двойного схвата дает возможность одновременно зажать заготовку и обработанную деталь. При этом за счёт поворота схвата вокруг оси на

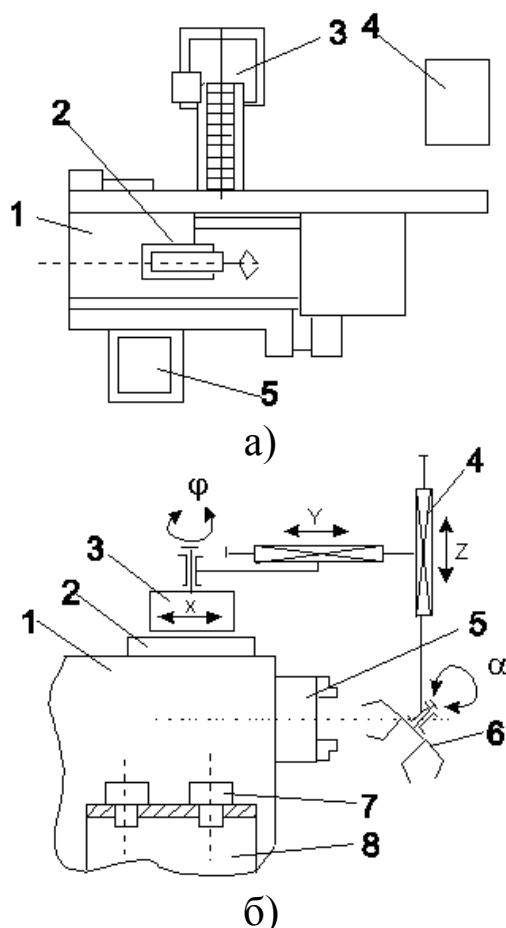


Рис. 103. ГПМ 16K20Ф3С18

180° на место извлечённой из патрона детали устанавливается очередная заготовка.

ПР последовательно выбирает из гнезд приёмно-накопительного стола 8 заготовки 7 и подаёт в патрон 5 станка. Одновременно свободным схватом из патрона извлекается обработанная деталь и после установки очередной заготовки транспортируется в освободившуюся позицию стола 8. Наличие отдельных схватов для заготовок и обработанных деталей позволяет роботу манипулировать заготовками и обработанными деталями, существенно отличающимися

размерами, а также сократить число движений робота в процессе загрузки-разгрузки станка.

Описанный модуль предназначен для обработки деталей диаметром от 5 до 150 мм и длиной 3–150 мм с массой до 3 кг в

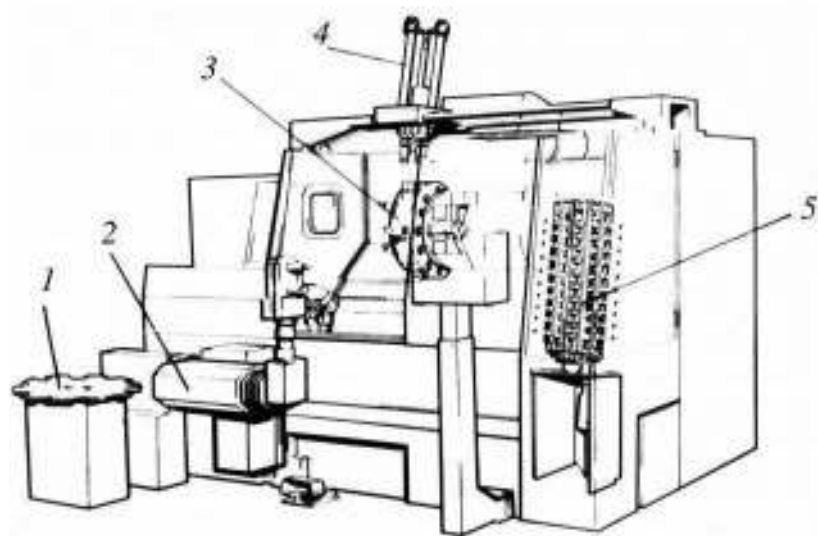


Рис. 104. Токарный ГПМ с инструментальным магазином

условиях мелкосерийного и серийного производства. Станок оснащен инструментальным магазином на шесть позиций.

В токарном модуле одной из зарубежных фирм

(рис. 104, где 1 – накопитель заготовок и обработанных деталей; 2 – промышленный робот для загрузки и разгрузки станка; 3 – инструментальная головка станка; 4 – инструментальный манипулятор; 5 – внешний инструментальный магазин для пополнения и замены инструмента в инструментальной головке станка).

Замена инструмента осуществляется инструментальным манипулятором. Для функционирования инструментальная система с внешним магазином должна быть оснащена средствами измерения и компенсации износа инструмента, а также коррекции. При этом важно обеспечить точное позиционирование инструмента при его закреплении в требуемом положении.

Резерв инструментов обеспечивается инструментальным магазином 5 барабанного типа с 12 стойками на 10 позиций каждая. Манипулятор с двойным схватом для смены инструментов перемещается со скоростью 100 м/мин. Точность позиционирования при смене режущего инструмента составляет около 0,3 мм. После каждой смены инструмента автоматически включается следующий цикл:

- ощупывание режущей кромки измерительной головкой и определение ее положения;
- обработка пробной детали со специально увеличенными размерами;
- измерение пробной детали и автоматическая коррекция положения инструмента.

По окончании обработки партии деталей вновь обрабатываются несколько пробных деталей.

5.5 Проектирование модулей для обработки корпусных деталей

5.5.1 Применение спутников

Для обработки корпусных деталей, к которым относятся сложные детали призматической формы, в составе ГПМ используются обрабатывающие центры. Наличие высокой степени автоматизации процесса обработки и возможность автоматической смены

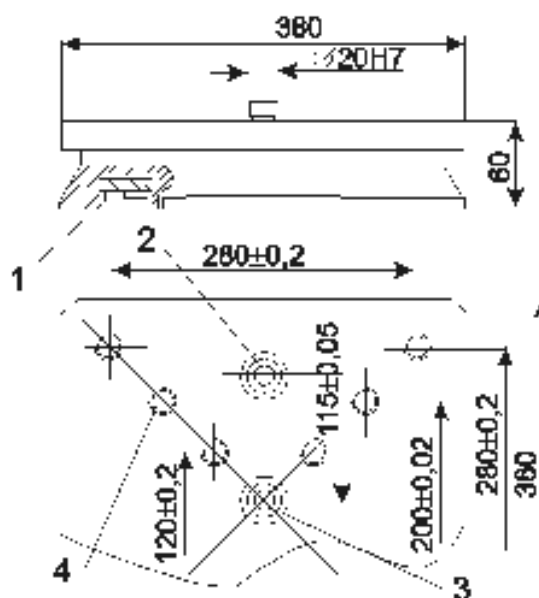


Рис. 105. Приспособление-спутник

инструмента в процессе работы повышают автономность станка и сокращают потребность в обслуживании станка оператором. В то же время при использовании обрабатывающего центра в составе ГПМ возникает задача автоматической смены и закрепления заготовок, существенно отличающихся размерами и формой.

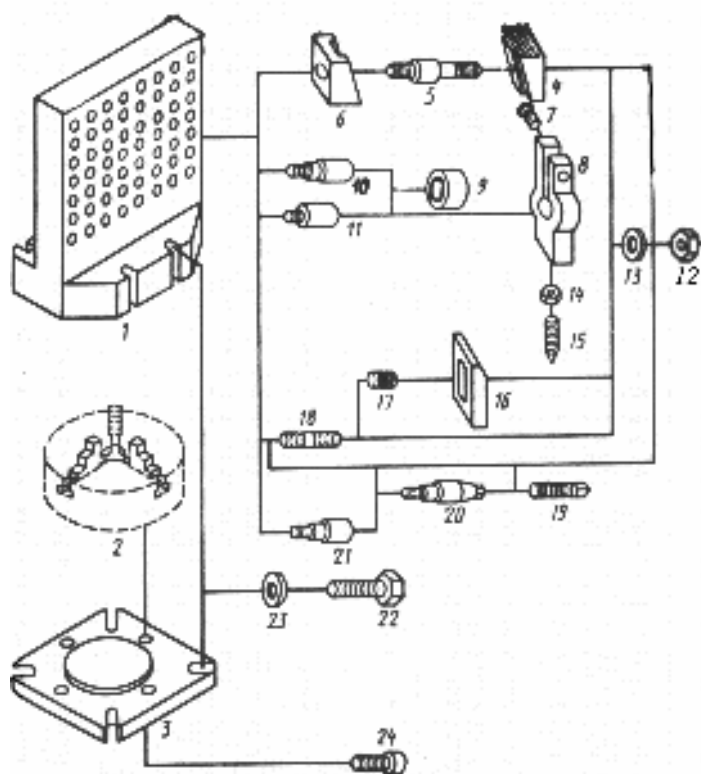
Для унификации установочных, зажимных и базирующих поверхностей, отличающихся по форме и размерам деталей, что необходимо для их установки и зажима на столе обрабатывающего центра, а также для транспортирования, используются спутники (или палеты, по зарубежной терминологии).

В общем случае спутник представляет собой стальную плиту, снабжённую направляющими и имеющую установочные, базирующие и зажимные поверхности, позволяющие устанавливать, базировать и закреплять спутник в станочных приспособлениях. На спутнике в определённом положении крепится обрабатываемая деталь, в дальнейшем все стадии обработки деталь проходит вместе со

спутником. В настоящее время наблюдается унификация спутников. Так, широкое распространение получила стандартная Европейская палета (Европалета).

Конструкция спутника (рис. 105) используется в отечественной ГПС модели АЛП-3-1. Спутник снабжён направляющими типа «ласточкин хвост». Конструкция таких направляющих обеспечивает стабильную установку спутника в приспособлении станка с точностью $\pm 0,015$ мм. На верхней поверхности плиты расположены базовые пальцы 2 и 3 и резьбовые отверстия 4, предназначенные для установки и базирования промежуточного приспособления с заготовкой. Спутник снабжён кодовой гребёнкой 1, которая определяет конкретный код спутника, для заготовки которого производится выполнение набора конкретных операций. При смене заготовки или её переустановке меняют кодовую гребёнку.

Для установки заготовки на спутник используется вспомогательное приспособление, конструкция которого определяется



конфигурацией конкретной заготовки. Наибольшее применение при этом получили универсальноналадочные приспособления (УНП). Основной частью этих приспособлений являются накладные плиты, на которые устанавливаются сменные наладки, базирующие и зажимные элементы и сборочные

Рис. 106. Комплект УНП "Система 320"

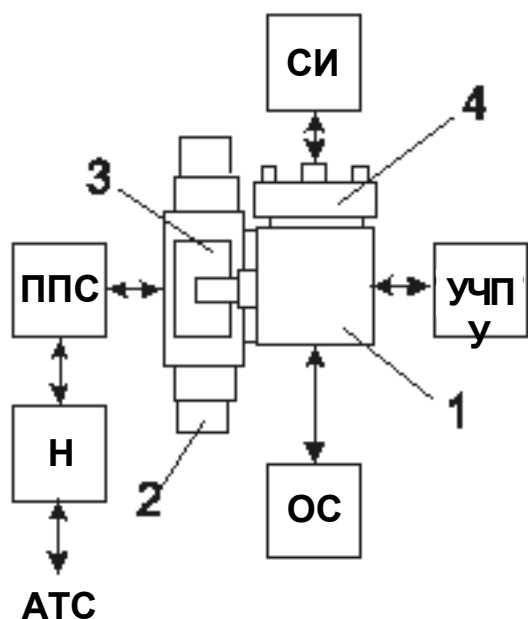
единицы. УНП выпускаются серийно в виде комплектов деталей и сборочных узлов.

Для обрабатывающих центров моделей ИР500МФ4 и ИР800МФ4 предназначен комплект УНП «Система 500». Для обрабатывающего центра ИР320ПМФ4 разработан комплект «Система 320» (рис. 106), который включает базовые элементы (угольник 1 с сеткой координатно-фиксирующих отверстий, патрон 2 и плиту 3), а также установочные и крепёжные элементы (4 – клин; 5, 18 – шпильки; 6, 20 – корпуса; 7, 15, 19 – винты; 8 – хомут; 9 – кольцо; 10 – удлинитель; 11, 21 – упоры; 12, 14 – гайки; 13, 23 – шайбы; 16 – прихват; 17 – пружина; 22, 24 – болты).

Комбинируя перечисленные элементы в разных сочетаниях, получают приспособление, необходимое для установки и базирования на спутнике детали конкретной конфигурации.

5.5.2 Структура модуля

Основу модуля (рис. 107) составляет обрабатывающий центр 1, на столе 2 которого устанавливается приспособление 3 для автоматического базирования и закрепления спутников с заготовками. Обрабатывающий центр имеет встроенный инструментальный магазин 4, в котором хранится сменный инструмент, используемый



при обработке детали под управлением программы. Управление ГПМ осуществляет устройство числового программного управления (УЧПУ) станка.

Для автоматизации процесса загрузки-разгрузки обрабатывающего центра заготовками и деталями

Рис. 107. Структура ГПМ для корпусных деталей

используется приемно-передающий стол (ППС) и накопитель (Н). Приёмно-передающий стол обеспечивает передачу на стол станка спутника с заготовкой и приём спутника с обработанной деталью. Запас спутников с заготовками хранится в накопителе Н. Отсюда спутники поочередно через приёмно-передающий стол (ППС) поступают на стол станка, где осуществляется обработка заготовок. После окончания обработки детали спутник через приёмно-передающий стол возвращается в свободную позицию накопителя. Наличие накопителя Н повышает автономность модуля. Накопитель может и отсутствовать. В этом случае связь станка с автоматизированной транспортной системой АТС происходит непосредственно через приёмно-передающий стол ППС.

Поскольку модуль ориентирован на изготовление более или менее обширной номенклатуры деталей при работе в автоматическом режиме в течение длительного времени, то набора обрабатывающих инструментов, хранящихся в штатном инструментальном магазине станка, бывает недостаточно. Кроме того, возникает необходимость замены сломанного и изношенного инструмента. Поэтому в составе ГПС предусматривается система обеспечения инструментом СИ, элементы которой могут входить непосредственно в состав модуля.

В состав модуля входит также автоматизированная обслуживающая система ОС, которая в первую очередь обеспечивает очистку зоны обработки от стружки и удаления стружки за пределы модуля.

При встраивании модуля в ГПС он взаимодействует с автоматизированной транспортной системой АТС, через которую осуществляется поток материальных предметов, необходимых для работы модуля (заготовки, детали, оснастка), с автоматизированной системой инструмента СИ и информационной магистралью автоматизированной системы управления АСУ ГПС.

5.5.3 Загрузка спутников

На столе станка устанавливается автоматическое приспособление для установки, базирования и зажима спутника с заготовкой. Спутник в приспособление поступает с промежуточного приёмно-передающего стола, находящегося рядом со станком. Перемещение спутника на стол станка может осуществляться либо с помощью рабочих движений шпинделя станка, либо с помощью специальных механизмов подачи, вмонтированных в приёмно-передающий стол. Конструктивно более прост первый вариант.

Загрузка станка с использованием рабочих движений шпинделя станка происходит следующим образом (рис. 108): рядом со столом станка устанавливается приёмно-передающий стол 8, снабженный

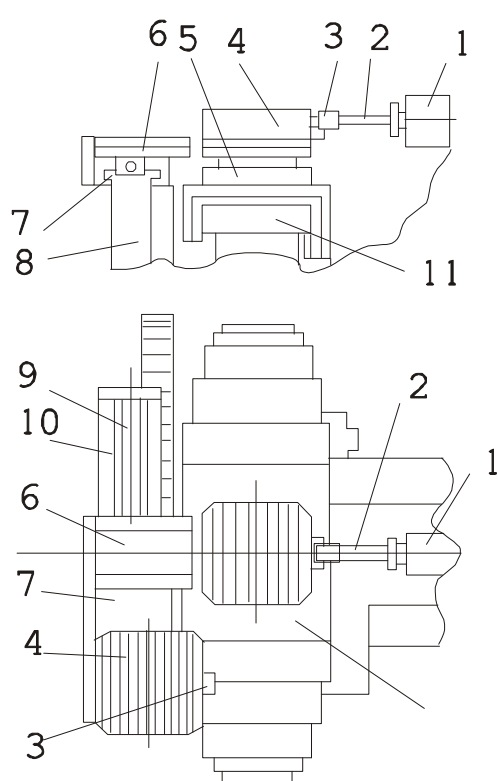


Рис. 108. Загрузка спутника

салазками 7, на которых закреплены две платформы 6 с направляющими для установки спутников 4. Салазки 7 могут перемещаться вдоль продольной оси стола станка по основанию 10 с помощью гидроцилиндра 9.

Платформы 6 поочередно устанавливаются гидроцилиндром 9 в позицию, соосную с зажимным приспособлением 5, находящимся на столе 11 обрабатывающего центра. Для загрузки станка платформа с установленным спутником перемещается в исходную позицию.

В шпиндель 1 станка вместо инструмента из инструментального магазина поступает специальная оправка 2, снабженная замком для захвата спутника. Поперечным движением шпинделя станка под управлением программы оправка выводится в позицию захвата

спутника, и её замок соединяется с кронштейном 3 спутника. Обратным движением шпиндель перемещает захваченный спутник с платформы 6 на направляющие приспособления 5. После зажима спутника оправка расцепляется с кронштейном спутника и удаляется из шпинделя станка в инструментальный магазин, а затем начинается обработка.

Когда обработка заканчивается, оправка возвращается в шпиндель станка, и с её помощью освобожденный из приспособления спутник возвращается на свободную платформу приёмно-передающего стола. Затем происходит расцепление замка оправки и гидроцилиндр 9 перемещает салазки 7 таким образом, чтобы в позицию захвата установилась платформа со спутником, несущим очередную заготовку, после чего происходит очередной цикл загрузки станка.

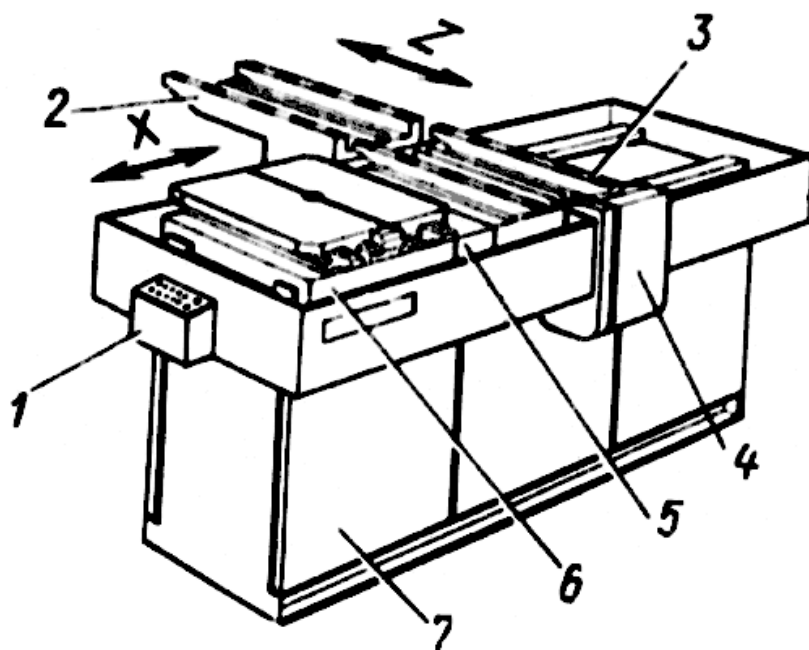


Рис. 109. Приемно-передающий стол с приводом

Приемно-передающие столы с встроенным механизмом подачи устроены более сложно (рис. 109). Они имеют напольную конструкцию. На основании 7 смонтированы направляющие, по которым

перемещается каретка 6, снабжённая двумя платформами для спутников, разделенными планкой 5.

Каждая платформа имеет поперечные роликовые направляющие 3, на которые устанавливаются спутники, с возможностью

перемещения в поперечном направлении по отношению к продольной оси приёмно-передающего стола. Для стыковки приёмно-передающего стола со столом станка используется промежуточный кронштейн 2, также снабжённый направляющими.

Приёмно-передающий стол имеет два электромеханических привода подачи. Привод 4 служит для поперечного перемещения спутника вдоль оси Z, а второй привод обеспечивает продольное перемещение каретки 6. Для ручного управления приводом предусмотрен пульт управления 1.

При загрузке станка каретка 6 с помощью продольного привода перемещается таким образом, чтобы против направляющих кронштейна 2 установилась платформа, несущая спутник с установленной заготовкой. Затем включается поперечный привод 4 и перемещает спутник через промежуточный кронштейн 2 на направляющие зажимного приспособления станка. Поданный спутник зажимается в приспособлении.

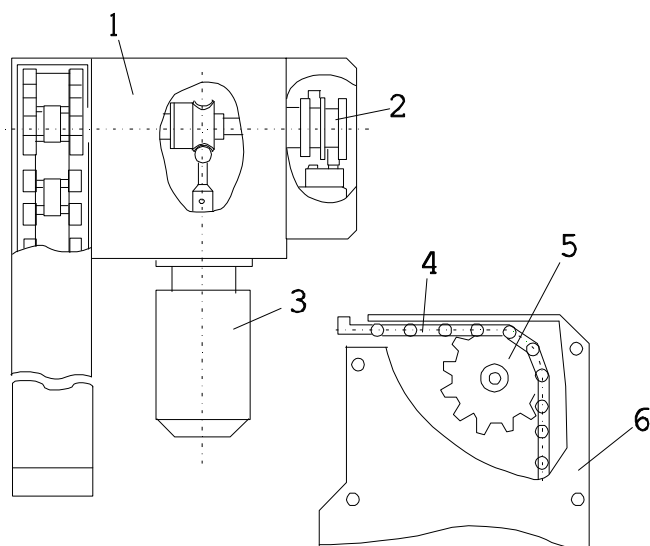


Рис. 110. Привод перемещений

Затем включается поперечный привод 4 и перемещает спутник через промежуточный кронштейн 2 на направляющие зажимного приспособления станка. Поданный спутник зажимается в приспособлении, происходит расцепление привода 4 со спутником и привод возвращается в исходное

положение. Разгрузка стола станка после обработки происходит в обратной последовательности.

Схема привода поперечной подачи спутника приведена на рис. 110. Привод снабжен электродвигателем 3 с червячным редуктором 1. На выходном валу червячного редуктора 1 закреплена ведущая звездочка 5, которая взаимодействует с подающей цепью 4, имеющей замковый механизм на конце и заключенной в кожух 6. Конструкция обеспечивает работу цепи, как в тянущем, так и в толкающем режимах. Для ограничения перемещения цепи и реверса движения служит блок конечных выключателей 2, включенных в цепь управления электроприводом. При перемещениях спутника замковый механизм цепи входит в зацепление с кронштейном спутника, и цепь сдвигается влево (рис. 110), выталкивает спутник с платформы приёмно-передающего стола на стол станка или втягивает спутник со стола станка на свободную платформу приёмно-передающего стола.

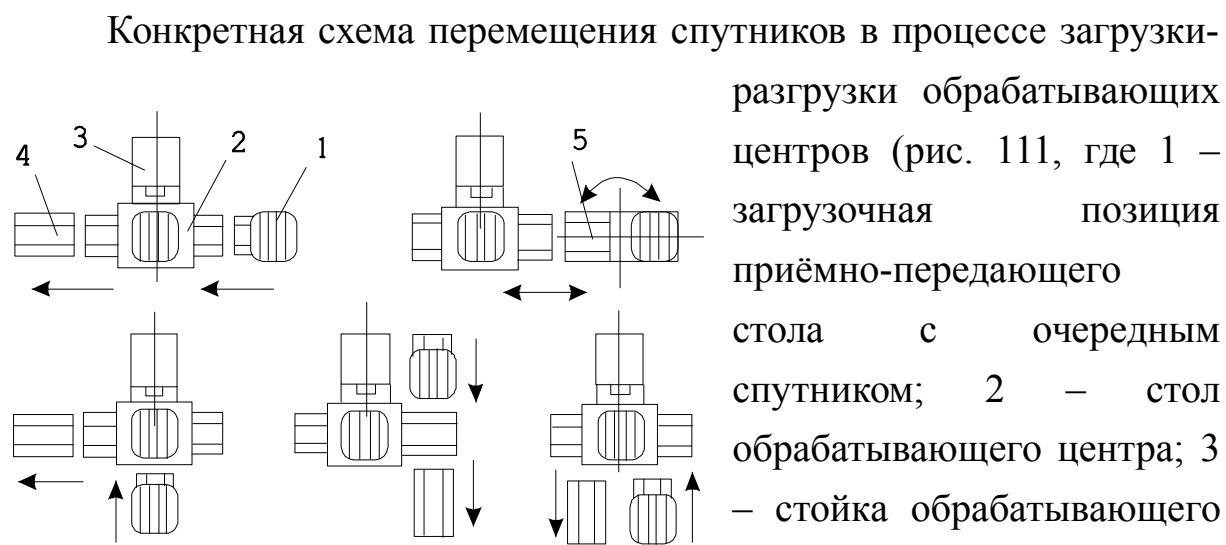


Рис. 111. Варианты расположения ППС

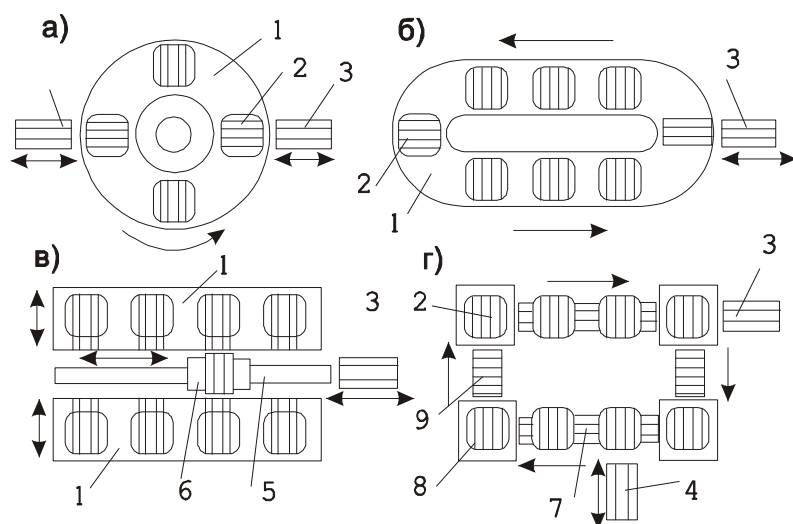
разгрузки обрабатывающих центров (рис. 111, где 1 – загрузочная позиция приёмно-передающего стола с очередным спутником; 2 – стол обрабатывающего центра; 3 – стойка обрабатывающего центра; 4 – разгрузочная позиция приёмно-передающего стола; 5 – поворотный приёмно-передающий стол) выбирается в зависимости от планировки оборудования, направленности технологических потоков транспортирования заготовок и обрабатываемых деталей и других условий эксплуатации станков. Перемещения спутника в процессе загрузки-разгрузки показаны стрелками.

5.5.4 Накопители спутников

Для автоматической работы модуля в течение заданного промежутка времени необходимо иметь запас заготовок. Эти заготовки на спутниках хранятся в накопителе модуля. Сюда поступают спутники с обработанными деталями для временного их хранения. При использовании модуля в составе ГПМ с развитой транспортно-складской системой накопитель модуля может отсутствовать, однако, при автономном использовании модуля в режиме безлюдной технологии их необходимо применять. Ёмкость накопителя выбирается такой, чтобы обеспечить заданную продолжительность работы модуля в автономном режиме. При этом в накопителе могут содержаться разные заготовки, необходимые для обеспечения выпуска заданной на данный период номенклатуры деталей.

В состав накопителя входят устройства для установки спутников, их перемещения и для обеспечения приёмки-выдачи спутников при взаимодействии с внешней транспортной системой и с приёмно-передающим столом станка.

Схемы компоновок накопителей различны. Чаще на практике используются горизонтальные накопители (рис. 112, где 1 – накопитель спутников; 2 – спутник; 3 – позиция загрузки-разгрузки станка; 4 – позиция загрузки-разгрузки накопителя; 5 – транспортная



магистраль; 6 – транспортный манипулятор; 7 – продольный роликовый конвейер для спутников; 8 – угловой подъёмный

Рис. 112. Локальные накопители спутников

механизм; 9 – поперечный цепной конвейер ускоренного перемещения спутников).

Основу кругового накопителя (рис. 112, а) составляет круговая платформа с позициями для установки спутников. Число позиций накопителя зависит от его размеров. Часто используется накопители на восемь позиций. Такой накопитель имеет привод для периодического поворота платформы на угол, соответствующий шагу позиций, и механизмы перемещения спутников между накопителем и позициями 3 и 4, через которые обеспечивается обмен спутниками с внешней транспортной системой и со станком (через приёмно-передающий стол или непосредственно). Специальное устройство 4 обмена спутниками с транспортной системой может отсутствовать, и тогда спутники подаются непосредственно в свободную позицию накопителя.

Большую ёмкость при сравнительно небольших габаритах имеет накопитель карусельного типа (рис. 112, б). Основу такого накопителя представляет замкнутый конвейер, который обеспечивает пошаговое перемещение спутников. Конструкция карусельного накопителя получается сложнее, чем конструкция кругового накопителя. В таких накопителях часто используются цепные конвейеры с грузонесущими платформами. Карусельные конвейеры могут применяться при обработке заготовок массой до 500 кг.

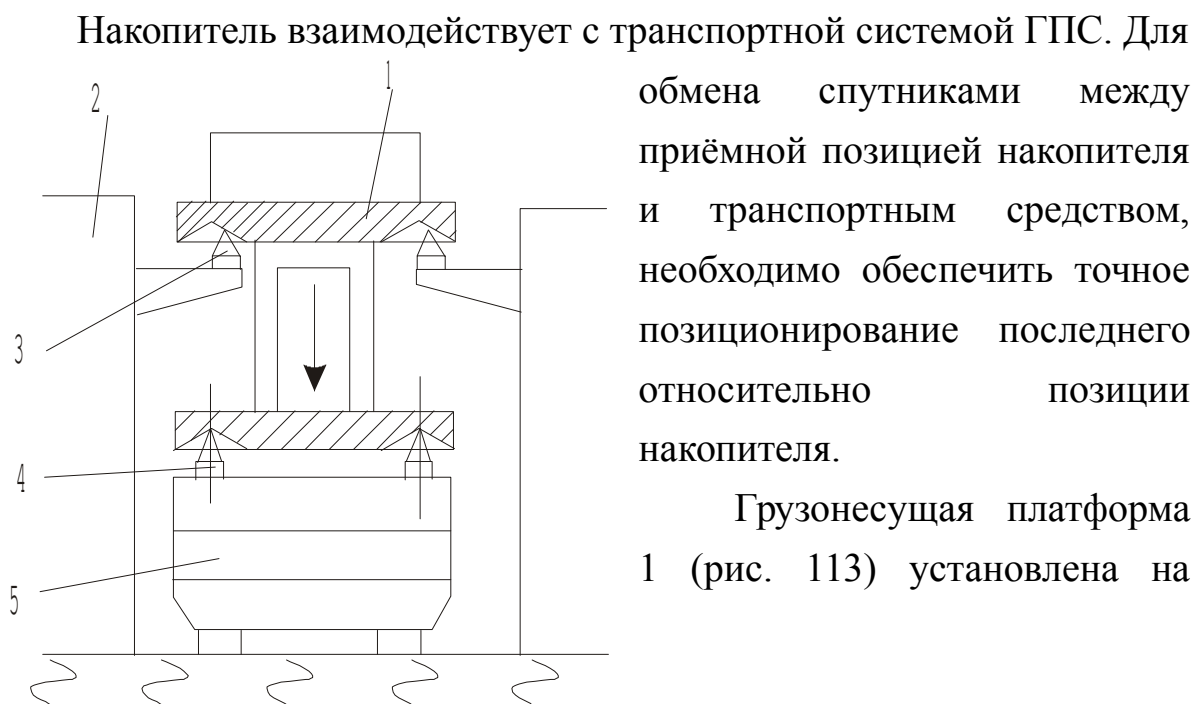
В накопителе (рис. 112, в) перемещение спутников осуществляется транспортным манипулятором. В каждый момент времени в таком накопителе движется только один спутник. При этом транспортный манипулятор 6 обеспечивает захват спутника 2 из позиции накопителя 1 и перемещение его к позиции 3 обслуживания станка, а также обратные перемещения. Загрузка накопителя производится через одну из его позиций. Сам накопитель прост по конструкции, не содержит приводов и движущихся деталей, однако, конструкция транспортного манипулятора сложна и стоимость

накопителя может быть значительной. Известные накопители такого типа имеют до 10 позиций.

Роликовый конвейер-накопитель (рис. 112, г) имеет два продольных роликовых конвейера 7, которые соединяются двумя поперечными цепными конвейерами 9, обеспечивающими ускоренное перемещение спутников. Для передачи спутников с роликового конвейера 7 на цепной 9 служат угловые подъёмные механизмы 8. Накопитель имеет также механизм перемещения спутников на приёмно-передающий стол станка. Ёмкость накопителя составляет до 12 спутников.

Рассмотренные схемы являются наиболее распространенными и встречаются в различных вариантах исполнения. Наряду с этими схемами накопителей используются и другие. Например, встречаются накопители вертикального типа, в которых спутники размещаются на вертикальном конвейере.

При использовании накопителя должен обеспечиваться доступ к его произвольной позиции, что необходимо для поиска конкретной заготовки. Поэтому накопители снабжаются устройствами определения кодов спутников. А система управления накопителем имеет возможности поиска и выбора любого нужного в данный момент спутника, на какой бы позиции он не находился.



обмена спутниками между приёмной позицией накопителя и транспортным средством, необходимо обеспечить точное позиционирование последнего относительно позиции накопителя.

Грузонесущая платформа 1 (рис. 113) установлена на

Рис. 113. Позиционирование груза

транспортном средстве 5 с помощью центрирующих конусов 4. Аналогичные центрирующие конусы 3 имеют стойки 2 приёмной позиции накопителя. В транспортном положении грузонесущая платформа 1 опирается на конусы 4, и уровень её верхней части располагается выше конусов 3. После того как транспортное средство прибыло на приёмную позицию и остановилось, включается механизм опускания платформы 1 и она, опускаясь на конусы 3 стоек 2, самоустанавливается на приёмной позиции. В этом положении возможно перемещение спутника с платформы на позицию накопителя и наоборот.

После приёма очередного спутника на грузонесущую платформу транспортного средства происходит её подъём, и она самоустанавливается на опорных конусах 4 транспортного средства 5. В этом положении и осуществляется транспортирование груза.

5.5.5 Смена инструмента

При использовании обрабатывающего центра в составе ГПМ возникает необходимость автоматизации операции смены инструмента в инструментальном магазине станка. Наиболее часто реализуются два основных способа: смена инструмента в магазине через шпиндель станка и непосредственная смена инструментов в магазине с использованием вспомогательного инструментального манипулятора.

При использовании первого способа инструментальный комплект доставляется к станку на стандартном спутнике в едином транспортном потоке с заготовками. Однако в этом случае спутник

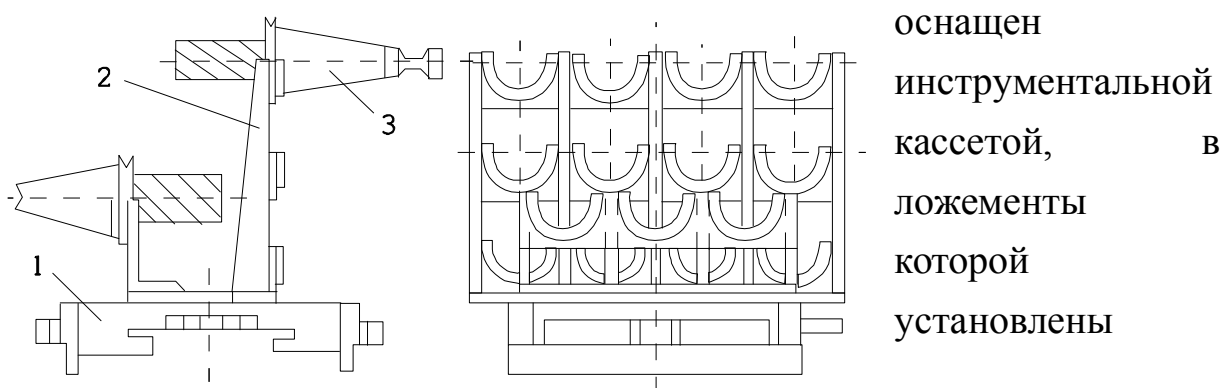


Рис. 114. Инструментальная кассета на спутнике

нужные инструменты (рис. 114, где 1 – спутник; 2 – инструментальная кассета; 3 – сменный инструмент). Инструменты в кассете фиксированы в определенном положении, но могут выниматься из ложементов движением вверх.

Спутник устанавливается на стол станка и закрепляется. Свободный от инструмента шпиндель станка под управлением программы смены инструмента перемещается таким образом, что его приёмный конец надвигается на хвостовую часть инструментальной оправки и становится возможным захват инструмента в шпинделе. После захвата шпиндель движется вверх, вынимает инструмент из ложементов и затем перемещается в позицию перегрузки инструмента из шпинделя в штатный инструментальный магазин станка. Доставленный инструментальным манипулятором станка инструмент перегружается в свободное гнездо инструментального магазина, а в шпиндель вставляется инструмент, который необходимо удалить из инструментального магазина. Шпиндель переносит этот инструмент в свободный ложемент инструментальной кассеты, и программа переходит к замене следующего инструмента. Операция повторяется до окончания смены всех доставленных в кассете инструментов.

Этот способ прост и требует минимума дополнительных средств (инструментальная кассета). Однако из-за длительности процесса смены инструмента возникает существенная потеря производительности станка.

Непосредственная смена инструмента в инструментальном магазине станка с использованием специального инструментального

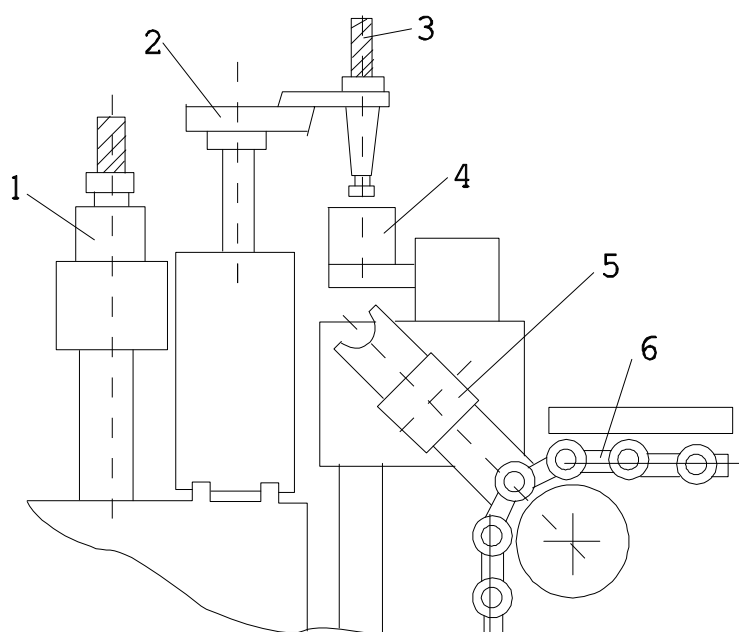


Рис. 115. Инструментальная система с роботом

манипулятора
свободна от этого
недостатка и
позволяет заменять
инструмент
непосредственно во
время обработки
детали на станке.
Однако техническое
осуществление
способа значительно
сложнее. Способ
непосредственной

смены инструмента в магазине станка использован в ГПС модели АЛП-3 (рис. 115, где 1 – внешний инструментальный магазин; 2 – робот-автооператор; 3 – инструмент с оправкой; 4 – перегрузочное гнездо; 5 – инструментальный манипулятор; 6 – цепной инструментальный магазин станка).

Запас сменного инструмента хранится в линейном магазине 1, вдоль которого перемещается робот-автооператор 2. Робот-автооператор извлекает нужный инструмент 3 из внешнего магазина и переносит его в перегрузочное гнездо 4, где считывается код инструмента, и система управления проверяет правильность подачи инструмента.

Если требуемый код инструмента подтверждается, то перегрузочное гнездо с установленным инструментом поворачивается в горизонтальное положение и инструментальный манипулятор 5 передает инструмент из перегрузочного гнезда 4 в свободное гнездо инструментального магазина 6 станка. Удаление инструмента из

инструментального магазина происходит в обратной последовательности.

Представляет интерес инструментальный робокар, оснащенный инструментальной стойкой и роботом (рис. 116). Робокар 1 оснащен сравнительно простым роботом 2 с тремя степенями свободы и инструментальной вертикальной стойкой 3 на 10–50 инструментов.

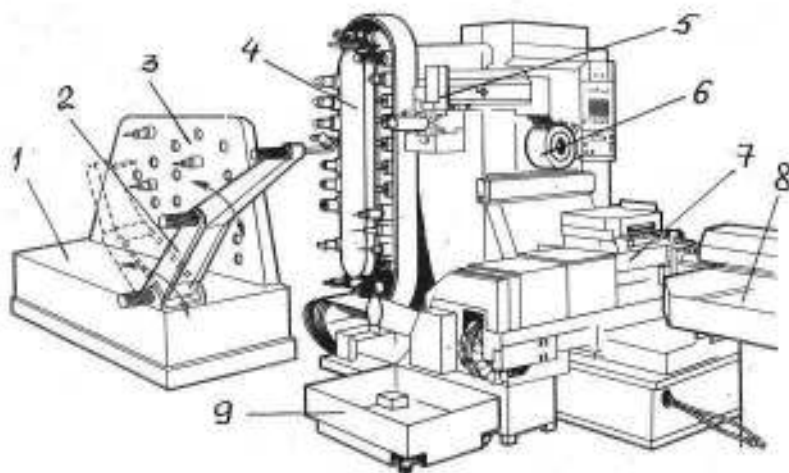


Рис. 116. Мобильный инструментальный робот

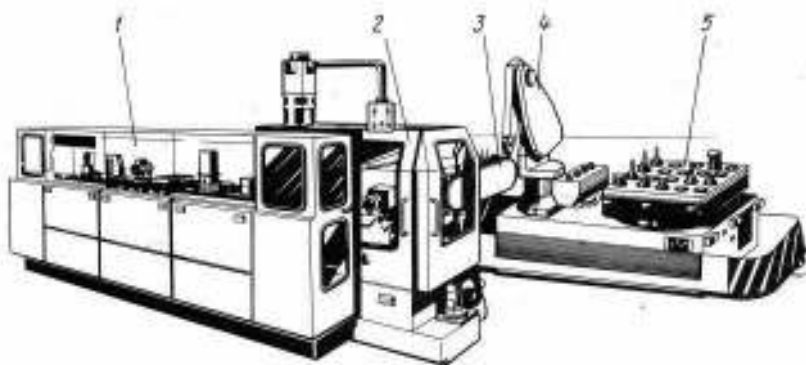
При
перемещении
робокар вдоль
инструментального
склада рука робота
захватывает
инструмент из ячеек
склада и помещает
его в ячейки
инструментальной
стойки 3. После

окончания загрузки робокар транспортирует инструмент к обслуживаемому обрабатывающему центру, имеющему инструментальный магазин 4, обслуживаемый инструментальным манипулятором 5, обеспечивающим перенос инструмента из магазина 4 в шпиндель станка 6.

Загрузку инструмента из инструментальной стойки 3 в гнезда станочного инструментального магазина 4 осуществляет рука робота 2. При этом возможно обратное перемещение удаляемых из магазина 4 инструментов в инструментальную стойку 3.

Кроме рассмотренных узлов на рис. 116 выделены также: 7 – стол станка с установленным спутником, 8 – приёмно-передающий стол, 9 – транспортный конвейер для стружки.

Использование робокаров для смены инструмента получило распространение ввиду преимуществ подобной системы. На рис.117 показан инструментальный робокар фирмы "Тойода машин уоркс" в процессе обслуживания инструментального магазина ГПМ. В состав ГПМ входит накопитель спутников с установленными на них



заготовками 1 и многоцелевой станок 2. Станок (обрабатывающий центр) имеет цепной инструментальный магазин 3.

Рис. 117. Смена инструментов в ГПМ с использованием ПР

Для смены инструментов в магазине 3 используется робот 4, установленный на робокаре. Запас сменного инструмента транспортируется на спутнике 5, также установленном на робокаре. Робокар может обслуживать всю ГПС, исключая необходимость в дополнительных инструментальных системах, устанавливаемых на каждом станке (например, дополнительных инструментальных манипуляторов).

Известны инструментальные системы, предусматривающие смену барабанных инструментальных магазинов станка. В результате резко увеличивается количество включаемых в систему инструментов. В одном из вариантов станок оснащен двумя инструментальными барабанными магазинами на 40 инструментов. Магазины выполнены съемными, причем один установлен непосредственно на станке, а другой на подвижной каретке. На эту каретку магазин подаётся с помощью робокара и затем происходит замена инструментального магазина станка резервным магазином, находящимся на каретке.

В последнее время применяются ГПМ с многошпиндельными головками, обеспечивающими одновременную обработку детали несколькими инструментами. При этом инструментальная система

обеспечивает хранение и смену многошпиндельных головок на станке. В состав системы входит склад многошпиндельных головок с устройством их приёма-выдачи и автооператор для смены головок на станке.

При организации инструментальной системы важной является проблема идентификации инструмента. Для этого используются три основных способа. Первый заключается в том, что инструментальная наладка имеет кодовый датчик того или иного конструктивного исполнения. Так, например, на корпусной части оправки может быть выполнена лыска с резьбовыми отверстиями, куда вворачиваются резьбовые штыри для набора кода. Код инструментальной наладки считается устройством считывания, например, в виде электромеханической схемы. В этом случае инструмент может загружаться в любое гнездо инструментального магазина.

При втором способе каждому гнезду инструментального магазина соответствует вполне определенный инструмент и для выбора нужного инструмента происходит управляемое позиционирование инструментального магазина.

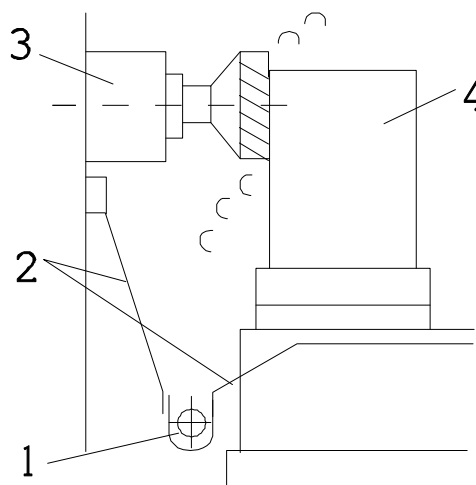
В основе третьего способа лежит переменное кодирование гнезда под инструмент. При этом устройство ЧПУ хранит динамическую систему таблиц, в которых каждому инструменту соответствуют коды инструмента, коррекция длины и радиуса инструмента, признак годности для дальнейшей работы, признак резервирования, код гнезда магазина, несущего инструмент. При смене инструмента предыдущий инструмент устанавливается на место последующего, а в таблицы автоматически вносятся изменения.

В последнее время для кодирования инструментов используются микросхемы памяти, куда заносится информация о номере, длине и диаметре инструмента, а также о других его характеристиках, например, стойкости. Блок с микросхемой диаметром 10–12 мм и

толщиной 8–10 мм встраивается в инструментальную оправку. Информация считывается электронным устройством.

5.5.6 Удаление стружки

Автоматизация уборки стружки является трудной задачей, однако, при использовании модуля в безлюдном режиме эту задачу необходимо решать. Наиболее благоприятные условия для удаления



стружки создаются при обработке вертикальных поверхностей детали. При этом стружка по большей части падает вниз, где устанавливаются стружкосборники. Для защиты направляющих и горизонтальных поверхностей станка устанавливаются дополнительные экраны (рис. 118, где 1 – шнековый транспортер для стружки; 2 – наклонные защитные экраны; 3 –

Рис. 118. Удаление стружки

шпиндель обрабатывающего центра; 4 – обрабатываемая заготовка). При выборе станка для ГПМ следует рассмотреть его конструктивные особенности, влияющие на отвод стружки из зоны обработки.

Если при проектировании станка этот вопрос удачно решен, то дальнейшие проблемы стружкоуборки становятся значительно проще. Полностью решить проблему стружкоудаления за счет её естественного падения вниз не удаётся. Дополнительно используют смыв стружки смазочно-охлаждающей жидкостью или сдув сжатым воздухом.

Для этого вокруг шпинделя часто располагаются несколько сопел, в которые подается жидкость, обеспечивая смыв стружки с поверхности детали и инструмента. Сжатый воздух можно применять для удаления мелкой и лёгкой стружки. При принудительном стружкоудалении необходимо ограждать рабочую зону.

Хорошие результаты дает удаление стружки с помощью различных щёток, скребков и пр. Например, резиновый скребок может устанавливаться в инструментальный магазин станка, и после обработки детали вызываться в шпиндель. Перемещая скребок под управлением программы, очищают стол станка и другие поверхности. Если станок обслуживается промышленным роботом, то удаление

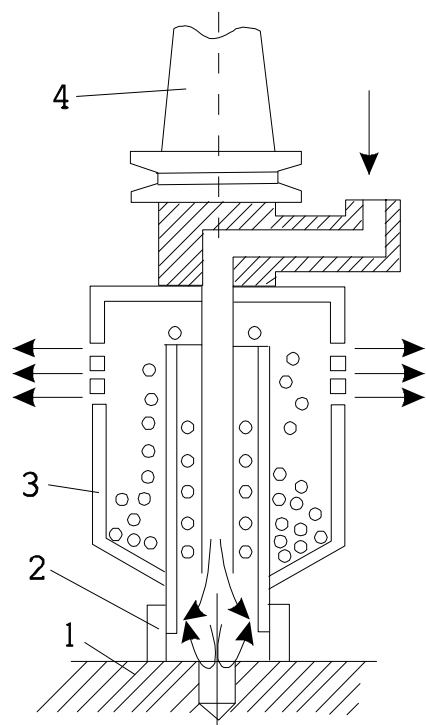


Рис. 119. Отсос стружки

стружки с помощью щётки и скребка может быть одной из его функций.

Сложно удалять стружку из отверстий, особенно из отверстий малых диаметров. В тоже время наличие стружки в отверстиях может, например, существенно усложнить операцию резбонарезания метчиком.

Специальное устройство для удаления стружки из отверстий и её сбора (рис. 119) представляет собой контейнер 3, снабжённый стандартным хвостовиком 4 и хранимый в инструментальном магазине обрабатывающего центра. Контейнер

устанавливается в шпиндель станка и подводится к поверхности обрабатываемой детали 1 до соприкосновения с поверхностью резинового шланга 2. После этого в центральную трубку подаётся воздух под давлением, происходит выдувание стружки из отверстия и перенос её в контейнер.

Ёмкость контейнера достаточна для сбора стружки в течение двух смен. Стружка, удаленная из рабочей зоны станка, падает в стружкоприёмники транспортёров и удаляется за пределы станка. Дальнейшая транспортировка стружки возможна либо с помощью робокаров, либо с помощью различных конвейеров. При этом система

стружкоудаления на базе использования робокаров отличается гибкостью и не требует больших затрат на своё осуществление.

При обработке корпусных деталей возникает необходимость в очистке самих деталей от стружки после обработки. Для этой цели используют мойку детали в моечных камерах или с помощью промышленных роботов, очистку деталей с помощью промышленных роботов или специальные качающиеся платформы, где с наклоняемой детали стружка сыпается.

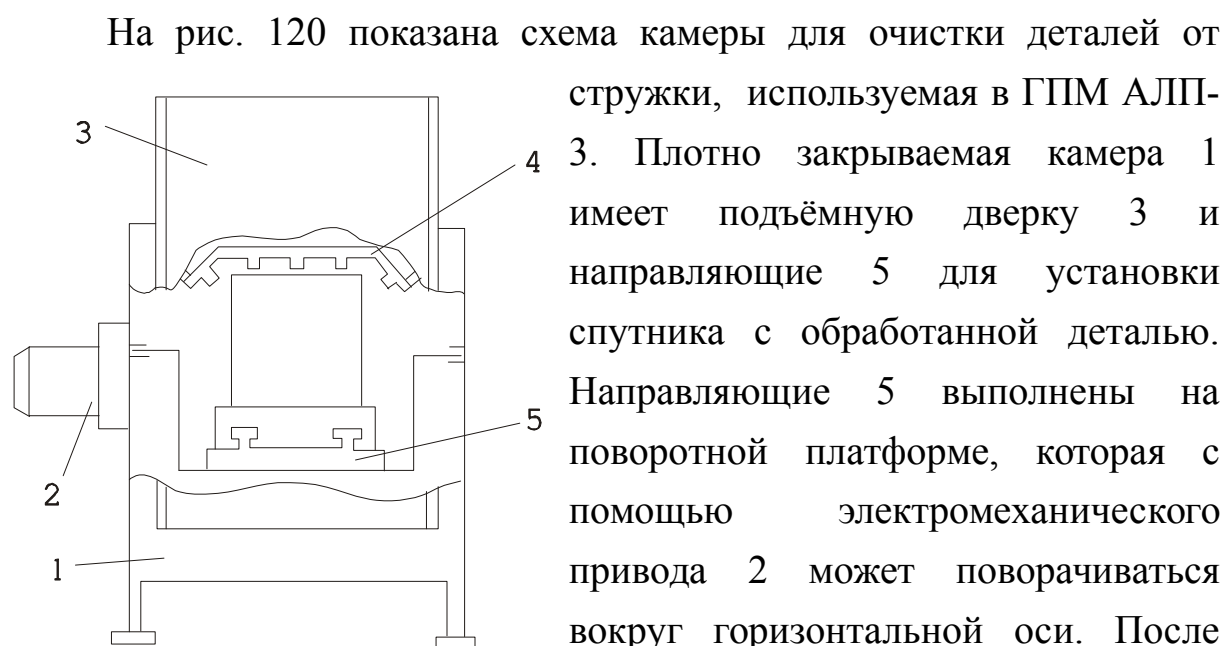


Рис. 120. Моечная камера для спутников

и включается привод 2, поворачивающий спутник с деталью вокруг горизонтальной оси на 360°.

Одновременно от гидростанции в магистраль 4, снабженную системой сопел, подаётся эмульсия, обеспечивая интенсивный смыв стружки и загрязнений с детали и удаление стружки. Камера может использоваться самостоятельно в технологическом маршруте обработки детали или встраиваться в накопитель обработанных деталей в составе ГПМ. После моечной камеры обработанная деталь готова к передаче на сборку или к поставке потребителю.

5.6 Модули для обработки корпусных деталей

На базе обрабатывающего центра ИР500МФ4 Ивановского станкостроительного производственного объединения серийно выпускается ГПМ модели «Модуль – 500», предназначенный как для автономного использования при обработке корпусных деталей, так и для встраивания в ГПС.

Компоновка этого модуля была рассмотрен выше (рис. 87). Модуль предназначен для обработки деталей средних габаритов с четырёх сторон в условиях серийного и мелкосерийного производства.

Смена инструмента в инструментальном магазине обрабатывающего центра производится через шпиндель станка с использованием инструментальной кассеты, устанавливаемой на спутнике и подаваемой на стол станка через накопитель заготовок. Инструментальная кассета рассчитана на 10 инструментов. Время смены инструмента 6 с.

Для повышения производительности обработки предусмотрена адаптивная система автоматического регулирования скорости резания по току главного двигателя, а также управление процессом резания в зависимости от деформации шпинделя.

ГПМ может оснащаться устройствами автоматического контроля износа инструментов и измерения геометрических параметров детали в процессе обработки. В качестве датчика используется измерительная головка, устанавливаемая в шпиндель станка или на его станину, и определяющая момент контакта измерительного наконечника с контролируемой поверхностью детали или инструмента. В момент контакта определяется также координата точки контакта в системе координат станка. Сигнал измерения поступает в микропроцессорный блок обработки данных и используется для формирования коррекции управляющей программы устройством ЧПУ станка.

Наличие накопителя в составе ГПМ обеспечивает его автономную работу в течение смены и позволяет на начальном этапе внедрения ГПС использовать такие модули самостоятельно. В дальнейшем модули с помощью транспортной и автоматизированной систем управления объединяются в ГПС и используются комплексно. На базе «Модулей – 500» создана ГПС типа «Талка 500» разных модификаций.

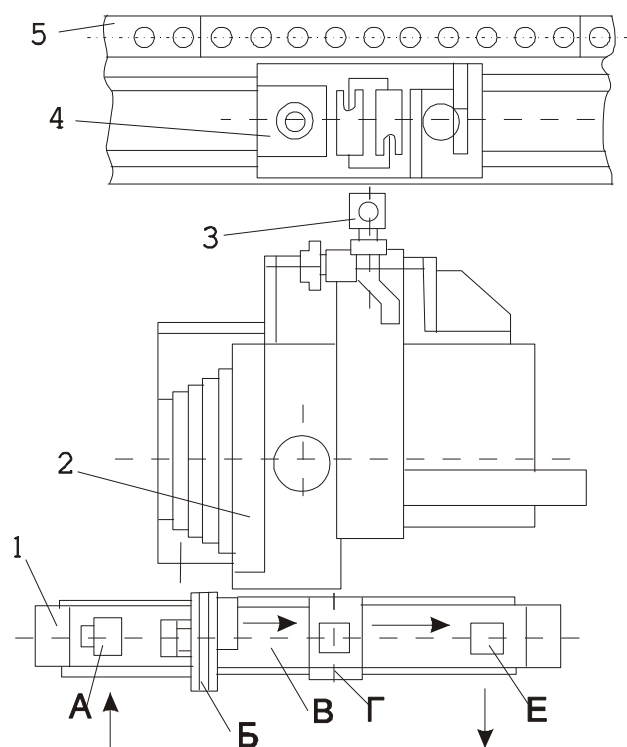


Рис. 121. Модуль ГПС АЛП-3

Иное решение принято при создании ГПМ, входящих в состав автоматизированного комплекса АЛП-3. Модули предназначены для обработки корпусных деталей размерами 250*250*250 мм, допуски на размеры лежат в пределах $\pm (0,02 - 0,05)$ мм.

Основой модулей являются специализированные многооперационные шестикоординатные станки АПРС-1М и СМ400Ф45. Эти

станки близки по конструкции и характеристикам. Они имеют размеры рабочей поверхности стола 360*360 мм, управляются по шести координатам (4 – линейные и 2 – круговые) и снабжены цепными магазинами на 60 инструментов. Управление станками производится от устройств ЧПУ модели Н55-2Л, устанавливаемых рядом со станком.

Компоновка модуля показана на рис. 121. Модуль состоит из: приёмно-передающего агрегата накопителя спутников 1; обрабатывающего центра 2; перегрузочного устройства для инструмента 3, взаимодействующего с внешней системой

инструмента, включающей инструментальный робот-автооператор 4 и инструментальный магазин 5.

Накопитель 1 функционально разбит на позиции А, Б, В, Г и Е. Позиция А является загрузочной и через неё в накопитель поступает извне спутник с заготовкой. Позиция Б оборудована манипулятором для выполнения операций загрузки-разгрузки станка. Позиция В является позицией ожидания. На позиции Г смонтирована моечная камера, в которой происходит удаление стружки и смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности обработанной детали и спутника. Позиция Е разгрузочная, с неё обработанная деталь забирается из модуля транспортной системой.

Конструктивно накопитель выполнен в виде роликового конвейера с электромеханическим приводом. При этом на каждой позиции останова спутника осуществляется с помощью выдвижных упоров. Для уменьшения износа опорных поверхностей спутников ролики конвейера имеют фрикционный механизм, обеспечивающий проскальзывание при остановке спутника.

Позиции А и Б оборудованы гидравлическими подъёмными устройствами для обеспечения взаимодействия с внешним штабелером транспортной системы. На позиции А имеется устройство для считывания кода спутника для идентификации поступившей в модуль заготовки.

Манипулятор на позиции Б конструктивно выполнен в виде телескопического стола с платформой для зажима спутников, контователя для перевода спутников в вертикальное положение при загрузке на стол станка и приёмно-поворотного механизма. Механизмы позиций А, Б, Е выполнены с использованием гидравлического привода.

Управление приёмно-передающим агрегатом осуществляется от командоаппарата, обеспечивающего жёсткий цикл работы механизмов на позициях агрегата. Линейные скорости перемещения спутника в

приёмно-передающем агрегате составляют 5–8 м/мин, максимальная транспортируемая масса – 150 кг.

Для смены инструмента в магазине обрабатывающего центра 2 используется метод прямой замены. Для этой цели обрабатывающий центр оборудован перегрузочным устройством 3 для инструмента. Внешний инструментальный магазин 5 выполнен двухрядным, состоит из отдельных блоков – кассет и имеет ёмкость 140 инструментов. На рис. 121 показана часть инструментальной системы, непосредственно взаимодействующая со станком. В инструментальном магазине имеется позиция, позволяющая считывать код инструментальной наладки, кодируемой с помощью сменных штырей.

Обслуживается инструментальный магазин двумя роботами – автооператорами 4. На рис. 121 показан один робот – автооператор, обеспечивающий передачу инструментальных наладок между внешним инструментальным магазином 5 и перегрузочным гнездом устройства 3, служащего для смены инструмента в гнездах инструментального магазина станка 2. Робот – автооператор имеет возможность перемещения вдоль инструментального магазина при поиске нужного инструмента или свободного гнезда. Он снабжен двумя захватными устройствами и может одновременно оперировать двумя инструментальными наладками. Привод робота обеспечивает точное позиционирование в направлении движения. Управляется робот от устройства ЧПУ модели Н55-2Л.

Скорость перемещения робота-автооператора вдоль магазина составляет 30 м/мин и эта координата управляется по программе. Точность позиционирования по координате $\pm 0,5$ мм. Максимальный диаметр инструментальной наладки – 200 мм, а суммарная транспортируемая масса – 25 кг.

Описанный модуль гибкой производственной системы АЛП-3 не приспособлен для автономной работы из-за малой ёмкости

накопителя заготовок и используется в сочетании с внешней автоматизированной транспортно-накопительной системой.

5.7 Управление точностью обработки в ГПМ

5.7.1 Измерительные головки

Для обеспечения параметрической надёжности ГПМ и заданного уровня качества обрабатываемых деталей необходимо иметь систему, позволяющую контролировать размеры обработанной детали на станке и по результатам измерений корректировать технологический процесс. В основе таких систем лежит использование измерительной головки, которая, наряду с обычным инструментом, хранится в инструментальном магазине станка и при производстве измерений устанавливается в шпиндель. Такая измерительная головка представляет собой точный датчик касания (индикатор касания), снабжённый оправкой для установки в шпиндель станка. При подводе измерительного наконечника датчика к какой-либо поверхности он выдаёт в момент касания измерительный сигнал, причём точность выдачи этого сигнала характеризуется погрешностью в единицы микрометров, т.е. весьма высока.

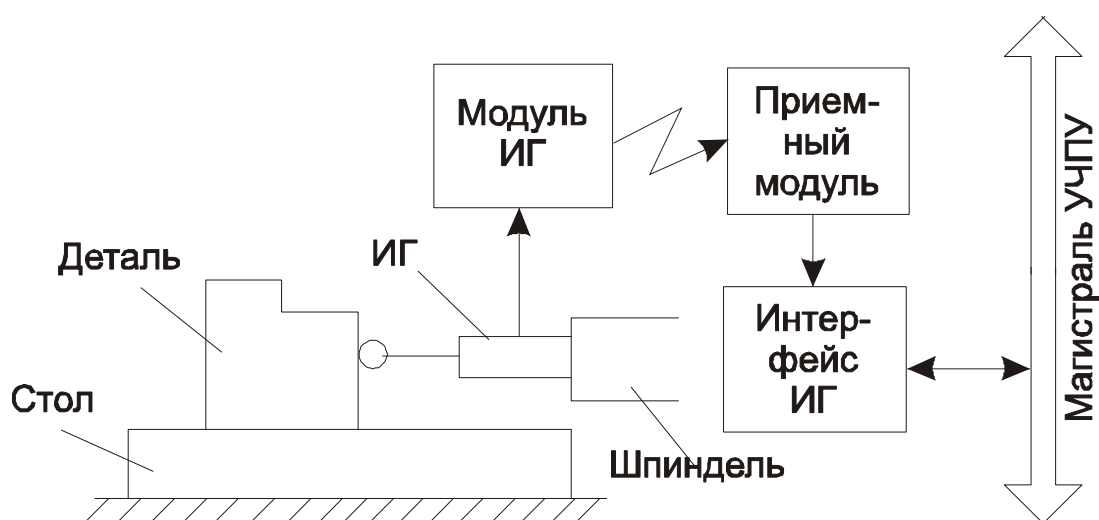


Рис. 122. Измерительная система

Пример измерения на станке с использованием измерительной головки показан на рис. 122. Измерительная головка ИГ установлена в шпинделе обрабатывающего центра и вследствие его перемещения вдоль координаты Z подаётся к поверхности обрабатываемой детали, установленной на столе станка.

В момент соприкосновения измерительного наконечника с поверхностью детали электронный модуль ИГ генерирует измерительный сигнал, который по каналу связи поступает в приёмный модуль, установленный неподвижно на станине станка. Выход этого модуля через интерфейсную схему соединён с входом сигналов датчиков технологического оборудования устройства ЧПУ станка.

В момент поступления сигнала от измерительной головки УЧПУ фиксирует координату Z_k точки касания и затем использует её для определения требуемой коррекции программы. С учётом всех влияющих факторов суммарная погрешность измерения координаты точки касания на станке составляет около 0,03 мм.

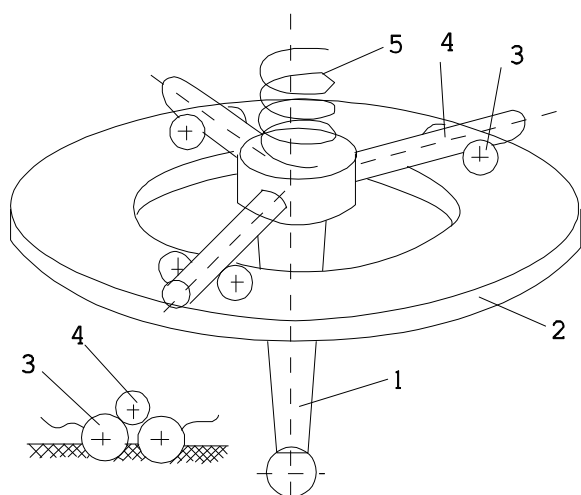


Рис. 123. Электроконтактная измерительная головка

Известны различные конструкции измерительных головок. Наибольшее применение на станках с ЧПУ получили электроконтактные трёхкоординатные измерительные головки, основанные на схеме, предложенной фирмой «Ренишоу электрикал» (рис. 123).

Измерительный стержень 1 головки устанавливается на опорной поверхности 2, соединённой с корпусом головки посредством трёх тел вращения (ролики 4) и трёх призм, образованных также телами

вращения (шарики 3). Силовое замыкание осуществляется измерительной пружиной 5.

Базирующие шарики 3 прикреплены к основанию 2 через изоляторы и соединены в последовательную электрическую цепь. В свободном состоянии измерительного стрелки 1 эта цепь замкнута. При воздействии силы на измерительный стержень вдоль его поверхности вверх или перпендикулярно его оси в любом направлении происходит перемещение последнего и разрыв электрической цепи. При размыкании контактов формируется электрический измерительный сигнал «касание». В корпус головки встраивается электронный преобразователь для формирования измерительного сигнала при размыкании электрических контактов.

Поскольку головка храниться в инструментальном магазине станка и в рабочем состоянии присоединение её к устройству ЧПУ с помощью кабеля невозможно, то она снабжается автономным источником электропитания (батарея) и устройством для бескабельной передачи электрического сигнала.

В таком устройстве используется передача сигнала световым лучом, для чего в корпус головки встраивается светодиод инфракрасного излучения, управляемой электрической схемой головки. Световой импульс, генерируемый светодиодом в момент размыкания контактов, воспринимается фотодиодом, который входит в состав приёмного модуля измерительной головки, устанавливаемого неподвижно на станине станка (или его стойке) и соединенного через интерфейс с устройством ЧПУ станка. С помощью светового луча измерительный сигнал может передаваться на значительное расстояние (более метра).

Возможна бескабельная передача измерительного сигнала с помощью воздушного трансформатора, образуемого системой обмоток, часть которых располагается в корпусе измерительной головки, а часть в приёмном модуле головки.

После установки головки в шпиндель станка эти обмотки оказываются на небольшом расстоянии друг от друга и между ними образуется индуктивная связь, что позволяет передавать сигнал из

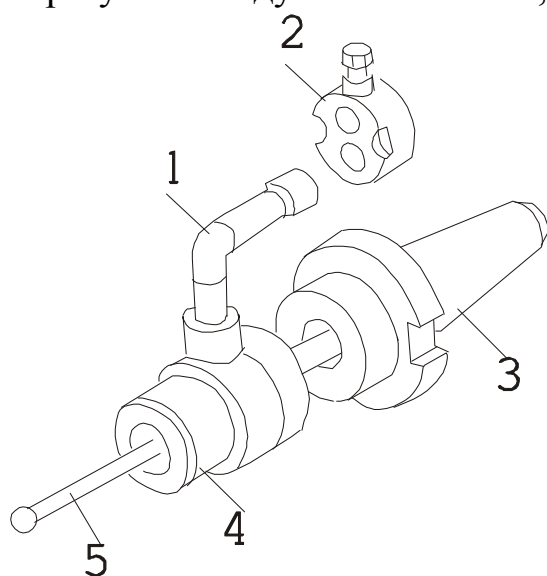


Рис. 124. Измерительная головка

одной обмотки в другую. Таким путём возможна не только передача измерительного сигнала, но и подача электрической схеме головки напряжения питания.

Дистанционность трансформаторного (индуктивного) канала невелика и составляет около 2 мм.

Общий вид измерительной головки показан на рис. 124, где 1 – устройство бескабельной передачи измерительного сигнала, 2 – приёмный модуль, 3 – оправка для установки головки в шпиндель станка, 4 – корпус измерительной головки, 5 – сменный измерительный наконечник. Подобные измерительные головки освоены отечественными предприятиями.

Индикатор контакта БВ-4271 – трёхкоординатная электроконтактная головка для станков с ЧПУ токарной группы. Индикатор контакта БВ-4272 – такая же головка, но предназначена для использования на обрабатывающих центрах. Известны и другие конструкции измерительных головок. Для получения сигнала контакта в них используются не только электроконтактные измерительные преобразователи, но и преобразователи других типов, например пьезоэлектрические.

В последнее время начали привлекать внимание головки отклонения, определяющие не только момент касания измерительным наконечником контролируемой поверхности, но и величину отклонения наконечника от исходного положения с преобразованием

её в пропорциональный измерительный сигнал. В головках отклонения используются индуктивные измерительные преобразователи.

5.7.2 Применение измерительных головок на станках

Измерительная головка позволяет производить измерение координат некоторых точек на поверхности детали, приспособления

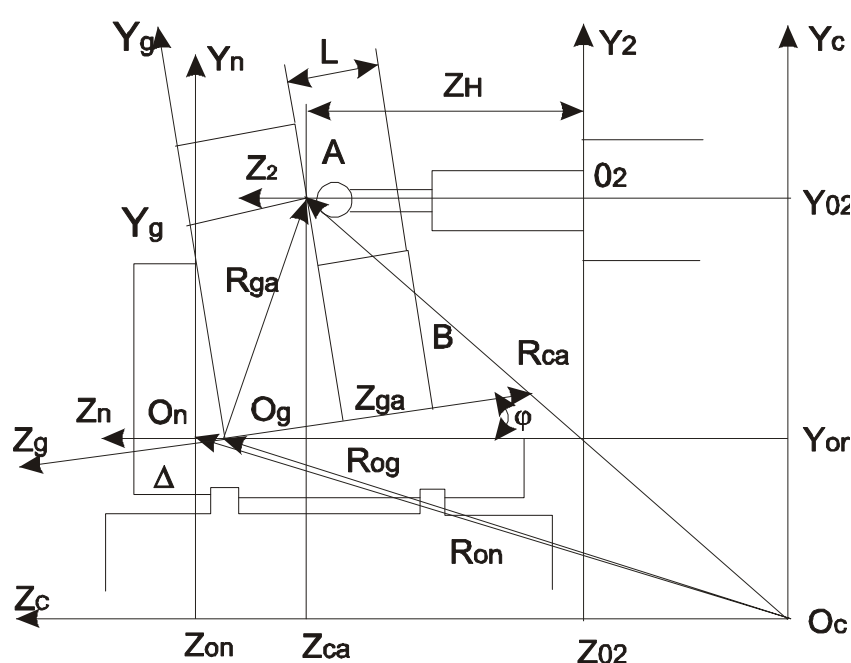


Рис. 125. Измерение размера через координаты контрольных точек

или инструмента. Результат измерения связан с использованием разных систем координат для разных элементов системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД). Пример измерения размера детали L показан на

рис. 125. На этом рисунке обозначены следующие системы координат: $O_c Z_c Y_c$ – система координат станка, в которой осуществляется отчёт координатных перемещений органов станка; $O_n Z_n Y_n$ – система координат приспособления – спутника; $O_d Z_d Y_d$ – система координат детали; $O_r Z_r Y_r$ – система координат измерительной головки. Описываемый пример характерен для обработки и измерений на обрабатывающих центрах.

Измеряемый размер L через координаты некоторых базовых точек A и B может быть выражен в системе координат детали следующим образом: $L = Z_{да} - Z_{дв}$. Однако непосредственное

измерение координат $Z_{\text{да}}$ и $Z_{\text{дв}}$ невозможно. Эти координаты определяются косвенным путём из соотношений (в качестве примера рассмотрена базовая точка А)

$$M_{\text{дп}} \cdot \bar{R}_{\text{да}} = \bar{R}_{\text{са}} - \bar{R}_{\text{од}},$$

где $\bar{R}_{\text{да}}$ – радиус-вектор базовой точки А в системе координат детали; $M_{\text{дп}}$ – матрица направляющих косинусов, учитывающая поворот системы координат детали на угол ϕ относительно системы координат спутника вследствие погрешности базирования; $\bar{R}_{\text{са}}$ – радиус-вектор базовой точки А в системе координат станка; $\bar{R}_{\text{од}}$ – радиус-вектор начала системы координат детали в системе координат станка.

Если учесть погрешность базирования детали в приспособлении-спутнике, то $\bar{R}_{\text{од}} = \bar{R}_{\text{оп}} - \Delta$, где Δ – погрешность базирования вдоль координаты Z. Приведённые выше соотношения можно записать в координатной форме:

$$\begin{vmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} y_{\text{да}} \\ z_{\text{да}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} y_{\text{ог}} \\ z_{\text{ог}} + z_{\text{н}} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} y_{\text{оп}} \\ z_{\text{оп}} - \Delta \end{vmatrix},$$

ИЛИ $y_{\text{да}} \cdot \cos \phi - z_{\text{да}} \cdot \sin \phi = y_{\text{ог}} - y_{\text{оп}},$

$$y_{\text{да}} \cdot \sin \phi + z_{\text{да}} \cdot \cos \phi = (z_{\text{ог}} + z_{\text{н}}) - (z_{\text{оп}} - \Delta).$$

Искомая координата базовой точки А

$$z_{\text{ää}} = \frac{(z_{\text{іä}} + z_{\text{і}}) - (z_{\text{іі}} - \Delta)}{y_{\text{ää}} / z_{\text{ää}} \cdot \sin \phi + \cos \phi},$$

где $Z_{\text{ог}}$ – измеренное в системе координат станка перемещение измерительной головки в точку А, определённое по сигналу головки «касания»; $Z_{\text{оп}}$ – расчетное положение начала системы координат спутника в системе координат станка; Δ – линейная составляющая погрешности базирования детали в приспособлении-спутнике; ϕ – угловая погрешность базирования детали в приспособлении-спутнике (поворот детали вокруг оси X, перпендикулярной плоскости чертежа).

Таким образом, искомая координата $Z_{\text{да}}$ на основании одного измерения может быть найдена с неопределённостью, обусловленной составляющими погрешности базирования Δ и ϕ . Для уточнения результата измерения можно произвести измерения нескольких точек, лежащих на поверхности детали, с координатой $Z_{\text{да}}$. Для каждой точки будет получена пара измеренных значений $Z_{\text{ог}}$ и $Y_{\text{ог}}$, что позволит записать систему уравнений и в результате расчетным путем получить значения $Z_{\text{да}}$, ϕ и Δ .

В общем случае обрабатываемые поверхности детали, поверхности заготовки или приспособления следует описывать в пространственной системе координат. При этом

$$\bar{R}_{\text{ск}} = M_{\text{сг}} \cdot \bar{R}_{\text{гк}} + \bar{R}_{\text{сог}},$$

где $\bar{R}_{\text{ск}}$ – радиус-вектор точки контакта К наконечника измерительной головки с контролируемой поверхностью в системе координат станка; $\bar{R}_{\text{гк}}$ – радиус-вектор точки К в системе координат измерительной головки; $M_{\text{сг}}$ – матрица направляющих косинусов поворота системы координат измерительной головки относительно системы координат станка;

$\bar{R}_{\text{сог}}$ – радиус-вектор начала координат системы координат измерительной головки в системе координат станка.

С другой стороны

$$\bar{R}_{\text{ск}} = M_{\text{сп}} \cdot (M_{\text{пд}} \cdot \bar{R}_{\text{дк}} + \bar{R}_{\text{под}}) + \bar{R}_{\text{соп}},$$

где $M_{\text{сп}}$ – матрица направляющих косинусов, учитывающая поворот системы координат приспособления-спутника в системе координат станка; $M_{\text{пд}}$ – матрица направляющих косинусов, учитывающая поворот системы координат спутника в системе координат станка; $\bar{R}_{\text{дк}}$ – радиус-вектор точки К в системе координат детали; $\bar{R}_{\text{под}}$ – радиус-вектор начала системы координат детали в системе координат

спутника; $\bar{R}_{\text{сop}}$ – радиус-вектор начала системы координат спутника в системе координат станка.

$$\text{При этом } \bar{R}_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix},$$

$$M_{ji} = \begin{pmatrix} \cos\psi \cdot \cos\theta & -\cos\psi \cdot \sin\theta & \sin\psi \\ \sin\phi \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta - \cos\phi \cdot \sin\theta & -\sin\phi \cdot \sin\psi \cdot \sin\theta + \cos\phi \cdot \cos\theta & -\sin\phi \cdot \cos\psi \\ -\cos\phi \cdot \sin\psi \cdot \cos\theta + \sin\phi \cdot \sin\theta & \cos\phi \cdot \sin\psi \cdot \sin\theta + \sin\phi \cdot \cos\theta & \cos\phi \cdot \cos\psi \end{pmatrix},$$

где M_{ji} – матрица, учитывающая поворот системы координат с индексом j относительно системы координат с индексом i вокруг осей x_i, y_i, z_i соответственно на углы ϕ, ψ и θ .

Возможны следующие варианты применения измерительной головки, устанавливаемой вместо обрабатывающего инструмента в шпиндель обрабатывающего центра или в инструментальный орган токарного станка с ЧПУ:

- контроль базовых точек спутника до начала обработки для определения погрешности базирования на станке и коррекции управляющей программы для компенсации этой погрешности;
- контроль базовых точек заготовки для определения погрешности базирования заготовки или величины фактического припуска на обработку;
- контроль базовых точек обработанной поверхности детали для определения смещения настройки станка и внесения коррекций в управляющую программу;
- комбинация перечисленных способов для дифференциации составляющих погрешности обработки или решения задач технического контроля качества обработанной детали.

Измерительная головка может использоваться для контроля инструмента. В этом случае она устанавливается на столе или станине станка и к её измерительному наконечнику периодически подводится инструмент для контроля координаты его базовой точки (рис. 126).

Результаты контроля в этом случае используются для диагностики целостности инструмента, для оценки его настроенности и

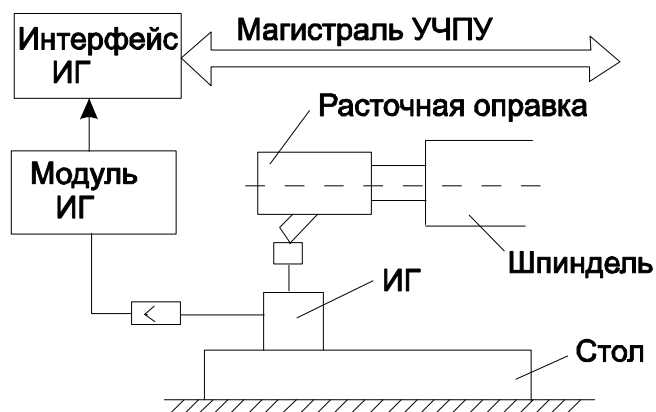


Рис. 126. Измерение инструмента

для определения величины износа. В двух последних случаях результат измерения можно использовать для коррекции управляющей программы, чтобы компенсировать влияние названных составляющих погрешностей на точность обработки детали.

5.8 Проектирование измерительных модулей

5.8.1 Координатные измерительные машины

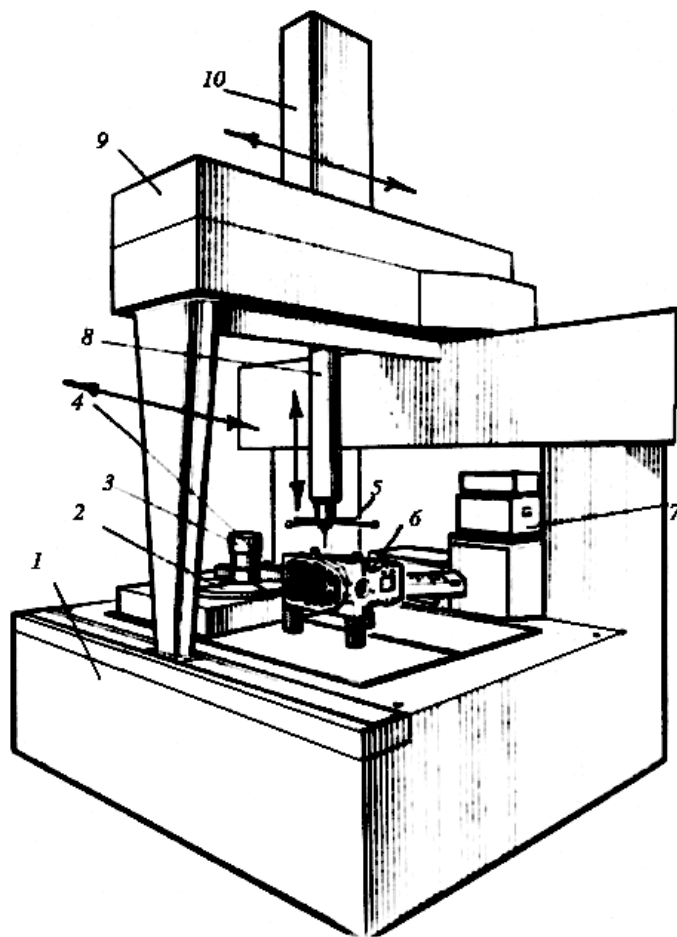
Координатные измерительные машины (КИМ) являются гибким средством для автоматического измерения геометрии деталей, изготавливаемых в ГПС. В КИМ используется координатный метод измерения, сводящийся к последовательному нахождению координат ряда точек измеряемой детали и к последующему вычислению на основе результатов измерения размеров детали. Для управления процессом измерения в этом случае пригодны устройства ЧПУ, а обработка результатов измерений осуществляется встроенными микроЭВМ.

Общий вид КИМ portalного типа показан на рис. 127 (1 – основание; 2 – поворотный стол; 3 – прижимное устройство; 4 – деталь, ожидающая обслуживания; 5 – измерительные щупы; 6 – измеряемая деталь; 7 – управляющий вычислительный комплекс; 8 – пиноль;

9 – портал; 10 – каретка). Портал 9 КИМ может перемещаться по

точным направляющим относительно основания 1 вдоль координаты X.

Относительно портала 9 перемещается каретка 10 в направлении



координаты Y, перпендикулярной направлению движения портала 9 по координате X. Каретка 10 имеет пиноль 8, перемещающуюся в вертикальном направлении вдоль координаты Z. Таким образом, три перемещения образуют в пространстве прямоугольную систему координат XYZ.

Рис. 127. Координатная измерительная машина

Координатные перемещения подвижных узлов

осуществляются с помощью управляемых от устройства ЧПУ приводов и контролируются точечными датчиками перемещений (индуктосины, растровые фотоэлектрические датчики). При конструировании КИМ принимаются меры для повышения точности направляющих и измерительных систем. Так, в современных КИМ направляющие часто делают из гранита, что повышает их точность и стабильность, применяют аэростатические направляющие и т. д.

На пиноли 8 закрепляются измерительная головка, которая обычно снабжена несколькими измерительными наконечниками 5 для

обеспечения возможности измерения координат труднодоступных точек. В качестве измерительных головок используются как головки касания, так и головки отклонения. Измерительные головки могут снабжаться сменными измерительными наконечниками, смена которых производится как вручную, так и автоматически под управлением программы.

При производстве измерений деталь 6 устанавливается на стол КИМ и под управлением программы измерительный наконечник 5 измерительной головки подводится к базовым точкам контролируемых поверхностей детали. Отсчет координатных перемещений ИГ в момент касания измерительным наконечником контролируемой поверхности дает возможность определить координаты базовой точки в системе координат измерительной машины. Путём последующей обработки координат ряда точек производится пересчёт координат в систему координат детали с определением фактического расположения последней на столе станка (принцип математического базирования детали) и вычисление размеров детали. Вычисленные размеры сравниваются с допустимыми с целью решения задач технического контроля качества. Процесс измерений документируется с распечаткой стандартных протоколов контрольной операции.

Управление работой КИМ осуществляется от ЭВМ, которые, с одной стороны, выполняют функции устройства ЧПУ при организации перемещений наконечников ИГ в базовые точки, а с другой – производят обработку измерительной информации. При обработке измерительной информации стандартными функциями являются:

- определение координат и поправок для каждого измерительного наконечника ИГ путём измерения образцовой детали – калибратора (шар или куб), установленной отдельно на столе КИМ;

- формирование системы координат детали на основании измерений координат ряда точек её поверхностей в системе координат КИМ;
- расчет геометрических параметров измеряемой детали;
- статистическая обработка результатов измерений;
- подготовка данных для автоматического управления обработкой с целью компенсации систематических технологических погрешностей;
- протоколирование результатов измерений.

Для решения данных задач системы управления КИМ требуют развитое программно-математическое обеспечение (ПМО). ПМО имеет иерархическую структуру и состоит из ряда программных подсистем, ориентированных на решение конкретных задач. Так, все КИМ универсального назначения имеют ПМО для двух- и трёхмерного измерения корпусных деталей. Имеются ПМО для измерения сложных и специальных поверхностей. В настоящее время известен ряд систем ПМО для КИМ, разработанных отечественными и зарубежными изготовителями.

В качестве примера рассмотрим возможности пакета программ UMESS фирмы Оптон для многокоординатных измерительных машин. Эта система позволяет работать как с головками касания, так и с головками отклонения при наличии у них до 25 измерительных наконечников. При этом автоматически учитываются размеры наконечников, направления их перемещений и характер ощупываемого контура детали (внешний или внутренний). UMESS предусматривает расчет полного набора геометрических элементов детали на основе измерения координат до 1000 точек, определение отклонений формы и расположения поверхностей. Предусмотрена

также статистическая обработка измерительной информации. Эта система программ допускает самые различные преобразования координат, коррекцию результатов измерений для исключения ряда составляющих погрешности измерения (например, температурной составляющей). Большое внимание уделяется содержанию и способам оформления протоколов измерений, включая графическое представление результатов. Система ориентирована на диалоговый режим задания операций и программирование методом обучения.

Наибольшее число моделей автоматических КИМ имеет диапазоны измерения от 600*600*400 мм до 4000*2000*1000 мм. Дискретность отсчёта, как правило, составляет 0,5–1 мкм, а погрешность измерения – от $(2,5 \div 3,5 \times L \cdot 10^{-3})$ до $(14 \div 14 \times L \cdot 10^{-3})$ мкм, где L – измеряемая величина, мм. Конструктивное исполнение КИМ различно: известны порталные, стоечные, консольные и мостовые КИМ.

5.8.2 Гибкие измерительные модули

Гибкий измерительный модуль может использоваться либо автономно для автоматизации технического контроля качества изготавливаемых деталей, либо в составе ГПС. В последнем случае наряду с задачами технического контроля качества модуль также решает задачу определения необходимого управления оборудованием для поддержания качества технологического процесса на требуемом уровне.

В качестве основного оборудования гибкого измерительного модуля обычно используется автоматическая КИМ.

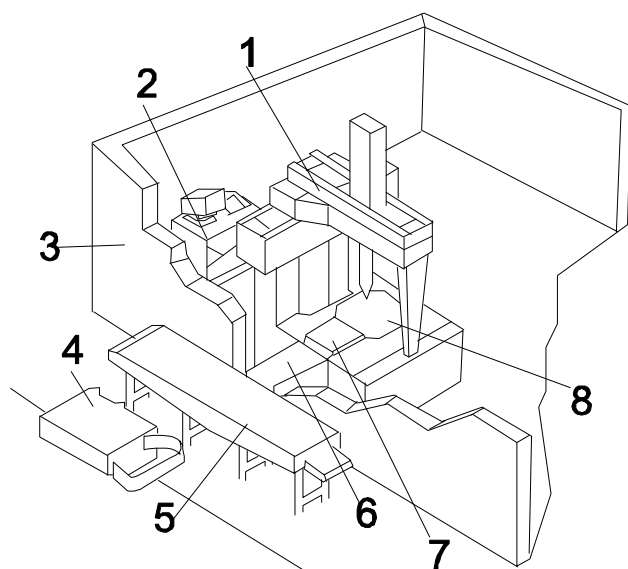


Рис. 128. Гибкий измерительный модуль

На схеме (рис. 128) показан измерительный модуль, встраиваемый в ГПС. Координатная измерительная машина 1 расположена в термokonстантном боксе 3 и снабжена транспортным 6 и приёмным 7 столами. КИМ имеет устройство смены измерительных наконечников и управляется от компьютерной системы

управления и обработки информации 2.

Измеряемые детали поступают в модуль на спутниках 8 и попадают в бокс через входной шлюз. Спутники доставляются автоматической транспортной тележкой 4 на тактовый стол 5, установленный перед шлюзом бокса. Узел транспортирования деталей управляется от отдельного программного устройства, связанного с системой управления 2 КИМ.

Недостатком описанного способа построения модуля на базе автоматической универсальной КИМ является малая производительность измерений, что обусловлено малыми скоростями координатных перемещений в КИМ. Для устранения этого недостатка известны разработки специализированных КИМ с более высокой производительностью измерений, предназначенные для встраивания в ГПС. Такие специализированные машины получили название измерительных роботов.

В качестве примера (рис. 129) приведен внешний вид измерительного модуля «Браво» фирмы ДЕА. В состав модуля входят два измерительных робота 1, выполненных по схеме стоечной КИМ с горизонтальной пинолью. Особенностью роботов является высокая

максимальная скорость координатных перемещений, до 33 м/мин. При этом скорость перемещения при измерении составляет до 5 м/мин. Координатные перемещения от $(1300 - 2000) \times 300 \times 300$ мм до $(1000 - 5080) \times 1200 \times 1500$ мм при погрешности измерения $\pm (5 - 8) \times 10^{-3}$ мм.

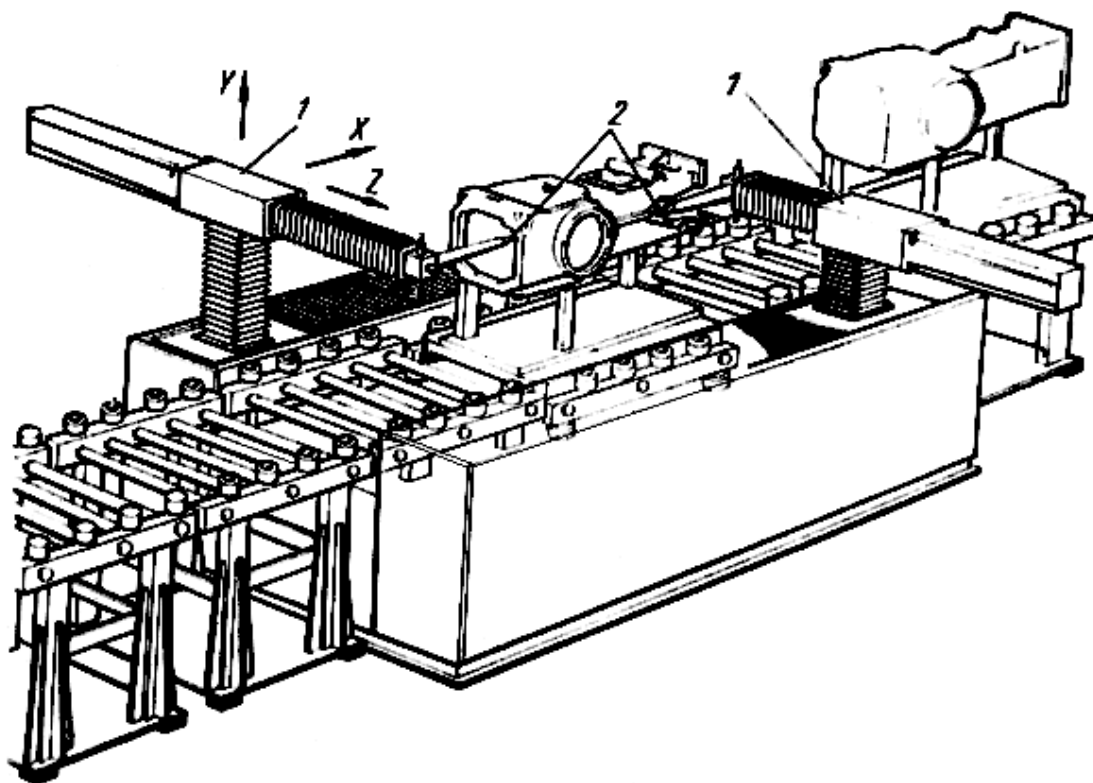


Рис. 129. Измерительный робот

Измерительные роботы снабжены измерительными наконечниками 2, с помощью которых измеряются координаты базовых точек детали, установленной на спутнике и поступающей на позицию измерения по транспортёру. Модуль имеет многопроцессорную систему управления одновременно по шести координатам. Предусматривается компенсация возможных ошибок измерения программным способом по параметрам «эталонной» детали, записанной в памяти робота.

Модуль предназначен, в основном, для массовых измерений, но в то же время он обладает гибкостью, дающей возможность измерения деталей различной метрологической сложности. Так, при контроле размеров корпуса топливного насоса с габаритами 100 × 90 × 80 мм измеряются 45 размеров с наименьшим допуском 13 мкм. При этом робот распознает подлежащую контролю деталь, вызывает соответствующую управляющую программу, вносит поправку на погрешность базирования детали, контролирует деталь и печатает результаты контроля. Общее время контроля составляет в среднем 1 мин 27 с.

6 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТРАНСПОРТНО-НАКОПИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

6.1 Особенности транспортно-накопительных систем ГПС

Любое производство связано с необходимостью организации транспортных потоков (перемещения заготовок, изделий, полуфабрикатов, инструмента, технологической оснастки, материалов, технологических отходов и пр.), а также с временным хранением всех перечисленных объектов в периоды, когда непосредственное их использование не предусмотрено.

В автоматизированном производстве при отсутствии обслуживающего персонала необходима автоматизация этих операций. Поэтому в составе гибкой производственной системы предусматривается автоматизированная транспортно-накопительная система.

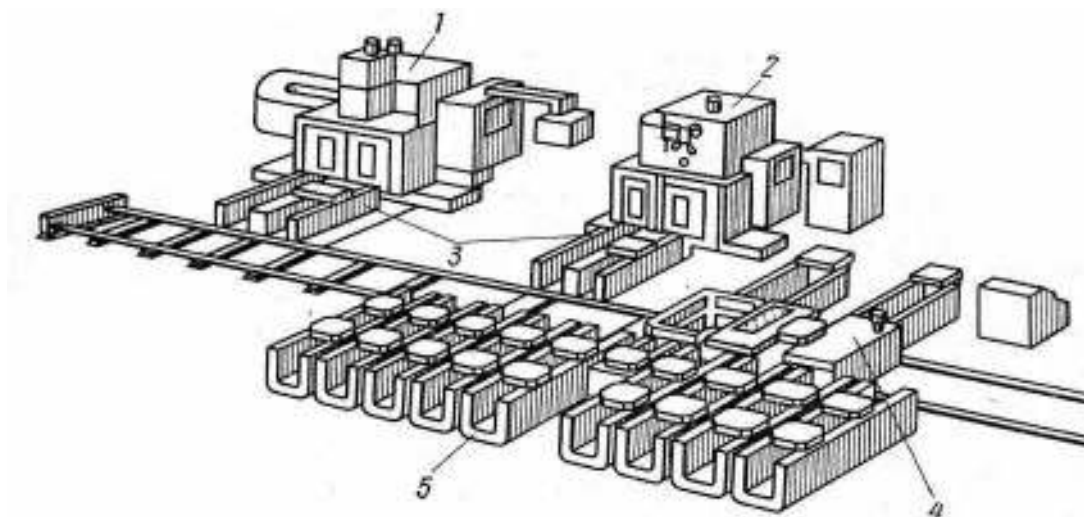


Рис. 130. Распределенная система складирования

Автоматизированные транспортно-накопительные системы (АТНС) обеспечивают автоматизацию складских и транспортных операций в ГПС. Совершенство и характеристики этих систем во многом определяют эффективность ГПС в целом. В составе АТНС можно выделить подсистему складирования и подсистему транспорта. Для складирования могут использоваться распределенные по ГПС локальные накопители. Однако наибольшее распространение получили автоматизированные центральные склады.

В зависимости от применяемого способа складирования различают распределенные АТНС и АТНС с центральным складом. Пример использования распределенной АТНС в ГПС фирмы Hitachi Seiko показан на рис. 130. Обработывающие модули построены с использованием обрабатывающих центров 1 и 2, оснащенных устройствами автоматизации загрузки-разгрузки 3. Транспортирование осуществляется автоматической рельсовой транспортной тележкой 4, для движения которой вдоль станков проложены рельсы. Тележка транспортирует спутники (паллеты) с установленными на них заготовками и обработанными деталями. Загрузка-разгрузка транспортной тележки автоматическая.

Для складирования спутников между периодами обработки используются накопители 5, установленные вдоль маршрута транспортной тележки. Число накопителей определяется потребностями складирования.

В ГПС обрабатываются корпусные детали с размерами до 500×500×500 мм. Время обработки одной детали 0,5–1 час. ГПС обслуживается одним человеком в смену (в составе ГПС 8 станков). В ночную смену ГПС работает без оператора.

Распределенные транспортно-накопительные системы характерны для сравнительно небольших ГПС. При увеличении объема складских операций используют автоматизированные склады. На рис. 131 приведен пример компоновки ГПС фирмы Kawasaki Unitmate с центральным складом.

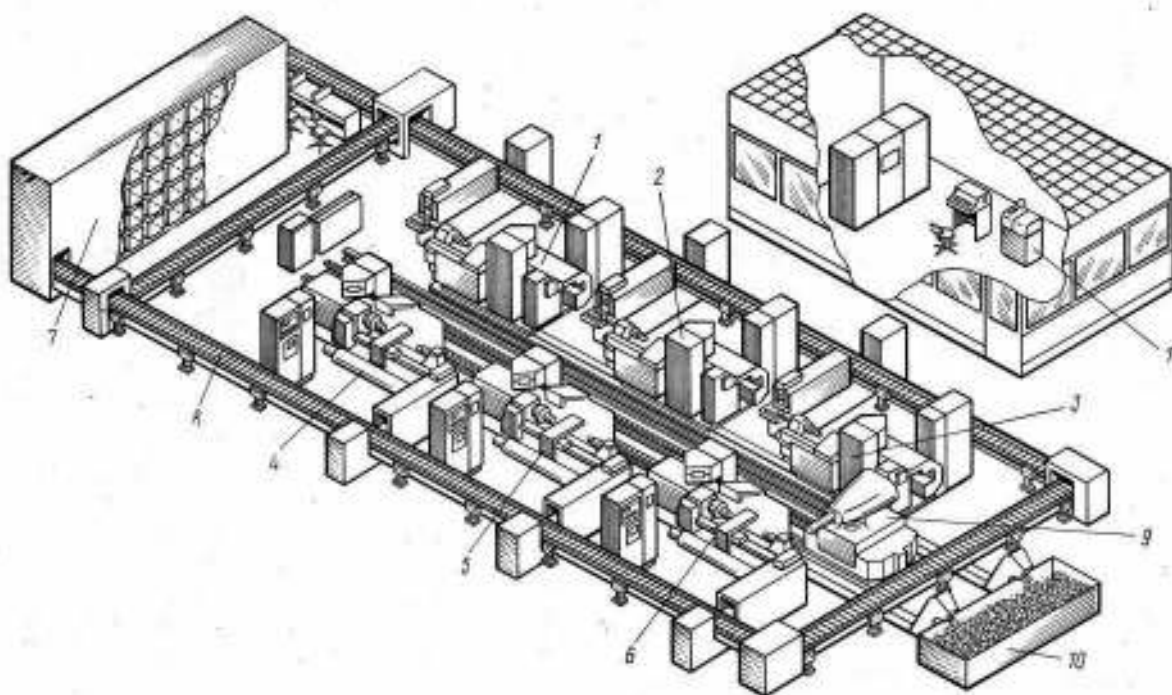


Рис. 131. ГПС с центральным складом

Обработка осуществляется на обрабатывающих центрах 1–3 и токарных станках с ЧПУ 4–6. Для складирования заготовок и изделий служит автоматизированный центральный склад 7, который роликовыми конвейерами 8 связан с обрабатывающим оборудованием.

Станки обслуживает рельсовая транспортная автоматическая тележка 9 с установленным на ней промышленным роботом.

Станки имеют систему автоматического удаления стружки 10. Управление ГПС осуществляется от центральной ЭВМ 11, установленной в отдельном боксе. Использование приводных адресуемых роликовых конвейеров характерно для ГПС ранних разработок.

Для автоматизации транспортных операций используются гибкие автоматизированные транспортные средства: адресуемые приводные конвейеры, промышленные и транспортные роботы, автоматические транспортные тележки. Особенностью транспортных потоков в ГПС является их невысокая интенсивность при разнообразии транспортных маршрутов. Поэтому от транспортных средств не требуется высокой производительности, но они должны быть гибкими.

Рассмотрим в качестве примера ГПС для механической обработки, которая имеет два токарных ГПМ и три ГПМ для обработки корпусных деталей на базе обрабатывающих центров. Для токарных станков суммарное время обработки заготовок, доставляемых в кассетах, составляет 30 мин. Для двух многоцелевых станков цикл обработки составляет 1 ч, а для третьего – 3 ч. Суммарное число перемещений транспортного средства при снабжении заготовками составит (в сутки):

$$2 \cdot (24 \cdot 2) + 2 \cdot (24 \cdot 1) + \frac{24}{3} = 152 .$$

Пусть транспортное средство также доставляет к станкам инструменты. Например, дважды в смену к двум станкам и раз в смену к остальным станкам. Тогда требуемое количество перемещений в сутки (за 24 ч) составит 7. Следовательно, общее количество

перемещений транспортного средства составит: $152+7=159$ перемещений в сутки.

На одно перемещение допустимо затратить 24 ч/159 перемещений, т.е. 9 мин. Следовательно, интенсивность транспортных потоков невысока и не предъявляет больших требований к производительности транспортного средства.

В то же время последовательность выполнения транспортных операций и их маршруты не являются постоянными и изменяются при изменении технологического процесса или плана выпуска продукции. Необходимость выполнения конкретной транспортной операции возникает в ходе технологического процесса и определяется системой диспетчерского управления ГПС. Транспортная система должна отрабатывать маршруты транспортирования по мере возникновения потребности в них. Реализация такого режима работы транспортной системы возможна только при программном управлении системой.

Следовательно, автоматизированные транспортные системы гибкого производства будут иметь существенные отличия от жестких автоматических транспортных систем массового и крупносерийного производства. К ним не предъявляется требование обеспечения высокой производительности, но в противовес возникает требование гибкости транспортных маршрутов и программного управления транспортными маршрутами.

6.2 Автоматизированные склады

6.2.1 Назначение и состав автоматизированного склада

Операции складирования необходимы в производстве вследствие неравномерностей циклов производства, транспортировок и потребления материальных объектов. Использование автоматизированных складов позволяет:

- снизить трудоемкость складских операций и общую трудоемкость производства;
- сократить запасы и ускорить оборачиваемость материальных объектов;
- повысить ритмичность производства;
- улучшить сохраняемость материальных объектов;
- сократить потребные производственные площади;
- высвободить вспомогательных рабочих.

Процессы складирования, так же как и процессы транспортирования, являются важными составляющими технологического процесса ГПС, и уровень их автоматизации сказывается на эффективности ГПС в целом. Так, в машиностроении и металлообработке только около 10 % времени деталь непосредственно обрабатывается, все остальное время она либо транспортируется, либо хранится.

В общем случае склад можно рассматривать как дискретную систему, принимающую различные состояния, в зависимости от поступления на склад или выдачи из склада объектов хранения (грузоединиц). Функционирование склада отображается процессом перехода дискретной системы из одного состояния в другое. Поскольку сам процесс поступления грузоединиц на склад и их выдачи со склада носит случайный характер, то и процесс функционирования дискретной системы является стохастическим.

Математическое описание процесса изменения состояний склада штучных грузов для любого числа состояний можно представить в следующем виде

$$\frac{dP(W_i)}{dt} = \sum_{j=1}^k \text{sign}(\lambda_{ji}P(W_j)), \quad j = \overline{1, k}, \quad i = \overline{1, n}, \quad k \in n,$$

где $P(W_i), P(W_j)$ – вероятности i -го и j -го состояний склада; λ_{ij} – интенсивность переходов склада из j -го состояния в i -е состояние, n –

общее число возможных состояний системы; k – число состояний, в которое может перейти склад из данного состояния; W_i, W_j – дискретные состояния склада.

Интенсивность (плотность вероятности) переходов из состояния W_i в состояние W_j

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t} \quad \text{при } \Delta t \rightarrow 0,$$

где P_{ij} – вероятность перехода склада за время Δt из состояния W_i в состояние W_j ($i \neq j$).

Потребная емкость склада может быть определена следующим образом

$$E = \frac{k_z}{T} \sum_{i=1}^n Q_i [\tau_{xp}]_i,$$

где $k_z = 1,05 \div 1,3$ – коэффициент неравномерности запасов, учитывающий случайные колебания складских запасов, T – число календарных дней в году, Q – годовой грузопоток через склад, $[\tau_{xp}]_i$ – нормативный срок хранения i -й грузоединицы.

Суточный грузопоток

$$Q^* = \frac{[P] \cdot F_i}{F_{i+1} - F_i} (\bar{Q}_{i+1} - \bar{Q}_i) + \bar{Q}_i,$$

где $[P]$ – заданная доверительная вероятность того, что ошибка определения грузопотока не превзойдет величину δ ; F – накопленная относительная частота попадания грузопотока в выделенный интервал i значений грузопотоков; Q_i – суточный i -й грузопоток; \bar{Q} – среднее арифметическое значение грузопотока.

Последняя формула используется для анализа существующих грузопотоков и расчет по ней удобно вести в табличной форме, принятой для статистических расчетов.

Вероятность того, что на складе в данный момент времени будет находиться k грузоединиц ($k < n$)

$$P(W_k) = \frac{I^k}{k!} e^{-I},$$

а вероятность того, что на складе найдется место для новой грузоединицы

$$P(k < n) = 1 - \frac{I^k}{k!} e^{-I},$$

где n – емкость склада, $I = \lambda \tau_{\text{хр}}$ – средний запас грузоединиц на складе, k – число грузоединиц на складе.

Для выполнения функций складирования и их автоматизации в составе склада имеются следующие компоненты: зона хранения грузоединиц; складская унифицированная тара; устройства (позиции) для приемки грузоединиц из внешней технологической среды на склад и их выдачи из склада, а также для дополнительной обработки грузоединиц; автоматическая штабелирующая машина для манипуляций с грузоединицами в пределах склада; автоматизированная система управления складом.

Склады ГПС принято делить на стеллажные и конвейерные. Наибольшее распространение в ГПС получили автоматизированные унифицированные стеллажные склады.

6.2.2 Зона хранения автоматизированного склада

Логическую организацию зоны хранения стеллажного склада можно представить в виде совокупности ячеек склада, образующих секции и ярусы склада (рис. 132). Ячейка склада предназначена для хранения одной грузоединицы. Грузоединицей является экземпляр



Рис. 132. Зона хранения

стандартной тары, в которую (или на которую) уложены предметы хранения. Количество ячеек зоны хранения определяет емкость склада.

Совокупность всех ячеек, расположенных друг над другом, образует

секцию склада. Число секций определяет общую длину зоны хранения склада. Совокупность ячеек, расположенных на одном уровне, образует ярус склада. Число ярусов влияет на общую высоту склада, которая может быть значительной.

Реализуется зона хранения в виде сборно-разборных унифицированных стеллажей, выпускаемых различными производителями. Типы, основные параметры и размеры сборно-разборных стеллажей определяются действующими стандартами. Существуют разные типы сборно-разборных стеллажей.

По конструкции опорных поверхностей для грузоединиц стеллажи бывают:

- полочные,
- каркасные,
- бесполочные,
- консольные.

По числу грузоединиц в ячейке стеллажи могут быть:

- одноместные,
- двухместные,
- многоместные.

По доступности грузоединиц различают стеллажи:

- с непосредственным доступом к каждой грузоединице,
- без непосредственного доступа (при многоместных ячейках).

По способу доступа к ячейкам стеллажи бывают:

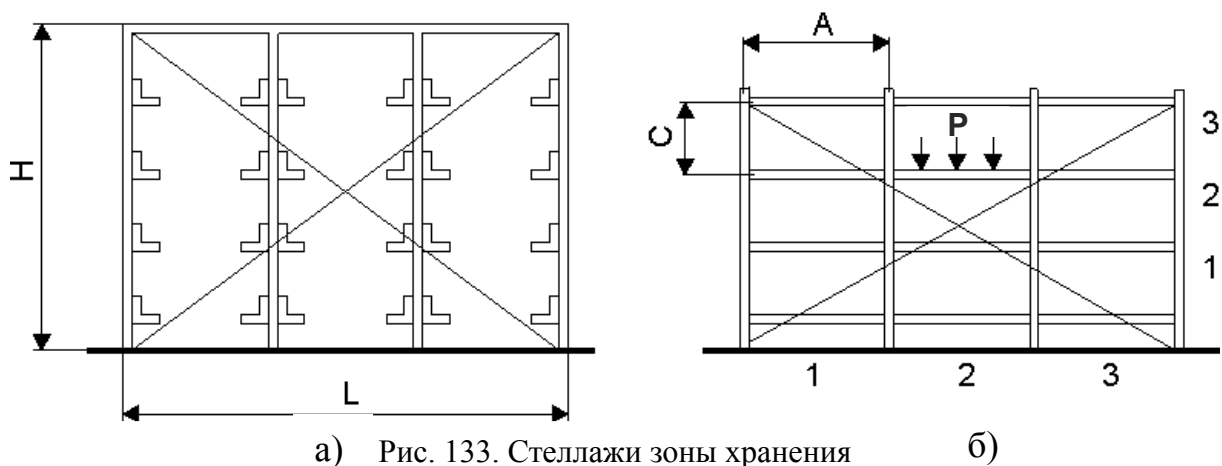
- одностороннего обслуживания,
- двухстороннего обслуживания.

Наибольшее распространение в ГПС получили сборно-разборные каркасные и бесполочные стеллажи. Каркасные стеллажи имеют каркас из сборных металлоконструкций, что повышает жесткость стеллажа и удобство его монтажа. На каркасе закреплены полки для установки объектов складирования. В бесполочных

стеллажах полки отсутствуют, а для установки объектов хранения имеются небольшие консоли, закрепленные на боковых сторонах. В бесполочном стеллаже проще доступ к объекту хранения. Оба типа стеллажей для повышения жесткости имеют вантовые растяжки.

Примеры стеллажей показаны на рис. 133: а) – бесполочный стеллаж, б) – каркасный стеллаж. Стеллажи характеризуются шириной ячейки "А", высотой ячейки "С" и глубиной ячейки "В" (на рис. 133 не показана), а также допустимой нагрузкой на ячейку "Р". Размеры ячейки должны соответствовать стандартам. Стандартная ширина ячейки 450, 670, 800, 850, 900, 1120, 1250, 1700 мм. Нагрузка на ячейку определяется следующим стандартным рядом: 50, 100, 250, 500, 1000, 2000 кг. Высота стеллажа "Н" выбирается из стандартного ряда в пределах от 1,8 м до 16,2 м, а длина стеллажа L

– не регламентируется.



В стеллажах различают фронтальную и тыльную стороны. Доступ в ячейки возможен только с фронтальной стороны (за исключением специальных конструкций стеллажей). Для адресации ячеек используется нумерация секций и ярусов склада. Секции

нумеруются слева направо, а ярусы – снизу вверх. Сборно-разборные стеллажи серийно выпускаются рядом предприятий.

Основой для автоматизации перемещения и складирования объектов является применение многооборотной транспортно-складской или специализированной технологической тары (кассет, спутников). В ГПС используется ящичная тара, поддоны и

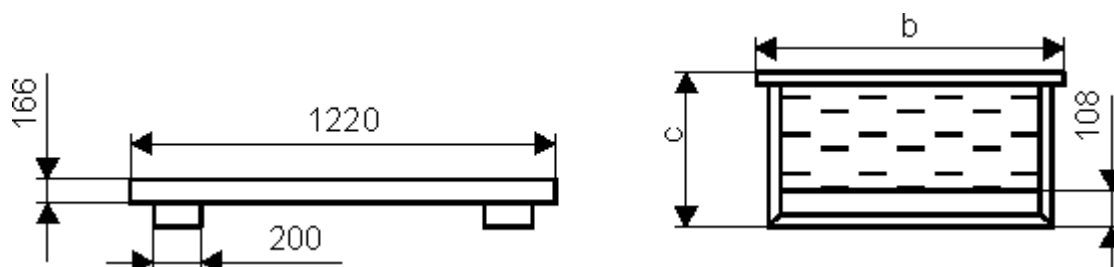


Рис. 134. Складская тара

технологическая тара (кассеты и спутники). Ящичная тара и поддоны унифицированы. Их параметры оговариваются стандартами. На рис. 134 приведен пример унифицированного поддона грузоподъемностью 1000 кг и ящичной тары. Размер "b" соответствует ряду 356, 466 и 618 мм, а размер "c" – 183, 224, 317 и 437 мм. Ножки тары обеспечивают возможность ее захвата вилочным захватом штабелирующей машины. Тара может быть металлической, пластмассовой и деревянной.

Стандартная тара имеет конструктивные элементы для автоматического захвата ее штабелирующей машиной. Кроме этого на таре предусматриваются элементы для автоматического распознавания (идентификации) ее содержимого. Последние обычно представляют собой кодовые датчики той или иной конструкции. При загрузке в тару объектов хранения на датчике набирается код, по которому в дальнейшем автоматически распознается объект хранения.

Наряду с кодовыми датчиками за рубежом широкое применение нашли устройства для нанесения и считывания штрих-кодов, что позволяет создавать автоматические универсальные системы идентификации объектов на производстве.

Позиции приемки и выдачи могут оснащаться кодовыми датчиками для идентификации обрабатываемых грузоединиц.

Штабелирующая машина (штабелер) выполняет все необходимые перемещения грузоединиц в пределах склада: взятие поступившей на приемную позицию грузоединицы и перемещение ее в ячейку склада, взятие грузоединицы из ячейки склада и перемещение ее на позицию выдачи склада, перемещение грузоединиц из ячейки в ячейку (в отдельных случаях). Управляется штабелирующая машина от локального контроллера, обеспечивающего позиционное управление.

- стеллажные краны-штабелеры,
- мостовые краны-штабелеры.

Рис. 135. Кран-штабелер

5 с направляющими для перемещения каретки 3. Каретка 3 имеет привод для вертикального перемещения.

Каретка 3 снабжена выдвигающимся захватом 4, который может помещать груз в ячейку склада или извлекать груз из ячейки склада. Этот захват также имеет привод.

Для предотвращения опрокидывания конструкции верхняя часть рамы 5 опирается на направляющий рельс 6, закрепленный в верхней части обслуживаемого стеллажа. Этот рельс может быть связан с конструкцией стеллажа, или опираться на отдельные колонны.

Система приводов в совокупности с системой позиционного управления позволяет захвату 4 точно позиционировать по отношению к ячейкам обслуживаемого стеллажа-накопителя.

Стеллажные краны-штабелеры могут иметь высоту подъема до 20 м при грузоподъемности более 1000 кг. Например, кран-штабелер РШ-500 имеет скорость движения тележки до 65 м/мин, вертикальную скорость перемещения каретки до 18 м/мин, точность позиционирования в пределах ± 4 мм, наибольшую высоту обслуживания 5.2 м и грузоподъемность 500 кг. Типы и основные параметры кранов-штабелеров стандартизированы.

В качестве примера рассмотрим конструкцию и особенности крана-штабелера, используемого в автоматизированных стеллажных складах шинной промышленности (рис. 136).

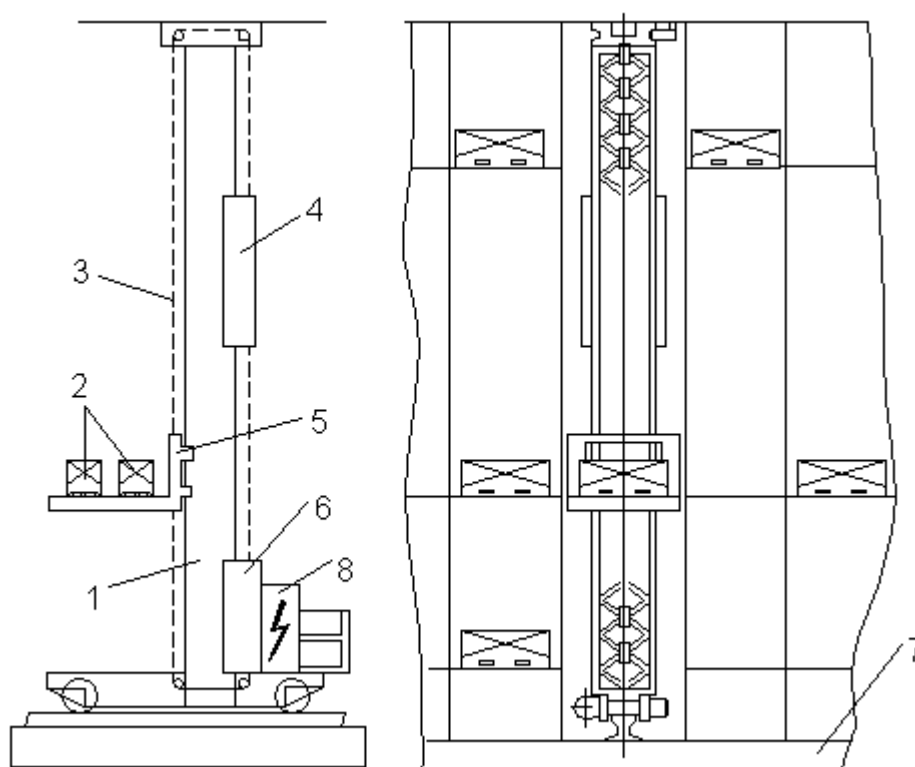


Рис. 136. Конструкция крана-штабелера

Кран-штабелер перемещается по рельсу в проходе между стеллажами склада. Несущая конструкция крана-штабелера включает колонну 1 и основание 7. Боковые поверхности колонны 1 закрыты сплошным листом, а сзади и спереди предусмотрены траверсы, расположенные через определённый шаг. Траверсы соединены между собой диагональными профильными связями. Прямоугольное сечение колонны закрыто четырьмя квадратными пластинами, которые служат направляющими подвижной рамы 5 и противовеса 4.

Основание 7 состоит из двух швеллеров. Подвижная рама 5 состоит из двутавровых профилей закрытой конструкции и соединена с тяговой цепью 3 регулирующими пальцами. Рама оснащена направляющими катками, что позволяет легко отрегулировать её положение в стадии монтажа и эксплуатации.

На подвижной раме 5 размещен вилочный захват для грузов 2 и предусмотрены предохранительные устройства для непредвиденных

падений рамы. Противовес 4, передвигающийся по направляющим, компенсирует вес подвижной рамы с вилочным захватом.

Для обеспечения безопасности на основании крана-штабелера предусмотрено решётчатое ограждение 6 высотой три метра от пола. Кран-штабелер опирается на два колеса, передвигающихся по рельсу. Привод осуществляется от электродвигателя постоянного тока.

Двигатель снабжён дисковым тормозом и тахометрическим устройством в комплекте с редуктором. Мотор-редуктор соединён с краном-штабелером упругой муфтой, смягчающей удары при пуске и перемене направления движения крана-штабелера.

Узел подъёма крана-штабелера включает самотормозящийся редуктор, который передаёт движение на тяговую цепь. Тяговые цепи разделены на две отдельные системы. Верхняя цепная система, идущая от подвижной рамы до противовеса, состоит из двойных цепей, служащих для поддержки подвижной рамы с грузом. Нижняя цепная система, идущая от подвижной рамы до противовеса через узел подъёма, состоит из двойной цепи, которая рассчитана на нагрузку, равную тяговой силе двигателя.

Колёса, действующие в продольном направлении, имеют постоянное межосевое расстояние; другие, работающие в поперечном направлении, установлены на эксцентриковой цапфе, которая позволяет регулировать зазоры, определяемые конструкцией самой колонны.

На верхнюю пластину несущего колеса монтируются колодки парашютного устройства, которые приводятся в действие и с помощью разрывного устройства цепи, и с помощью ограничителя скорости. При вращении колодки специальное устройство блокирует падение подвижной рамы 5. Ограничитель скорости также предназначен для защиты от падения подвижной рамы, но по причине остановки какого-нибудь передающего органа или выхода из строя тормоза двигателя.

Для снятия и укладки поддона на стеллажи и на рольганги торцевых участков предусмотрены телескопические вилочные захваты с обычной и двойной глубиной, заходящие под поддон, стоящий на ножках.

Для управления краном-штабелером предназначена стойка управления 8. В стойке управления находятся все силовые элементы, а также программируемый контроллер, имеющий средства для связи с системой управления всего склада. Имеется как автоматический, так и ручной режимы управления штабелером.

Кран-штабелер оснащён торцевыми системами безопасности на всех направлениях перемещения. Перемещение и быстрый подъём штабеллера-манипулятора возможны только в том случае, если его вилочный захват строго центрирован.

Наряду со стеллажными кранами-штабелерами находят применение мостовые краны-штабелеры. Мостовые краны-штабелеры могут обслуживать по 6–8 стеллажей и дополнительно выполнять погрузочно-разгрузочные работы вне зоны хранения, что является их преимуществом. Они не связаны непосредственно со стеллажами-накопителями. Однако серийные мостовые краны-штабелеры не имеют автоматического управления и при их использовании в автоматизированном складе необходима доработка системы управления.

Схема мостового крана-штабелера показана на рис. 137. Мостовой кран имеет раму 2, которая с помощью привода перемещается по рельсовым направляющим 1, закрепленным на колоннах или на консольных балках стен над оборудованием склада. Верхнее расположение всей конструкции позволяет экономить производственную площадь.

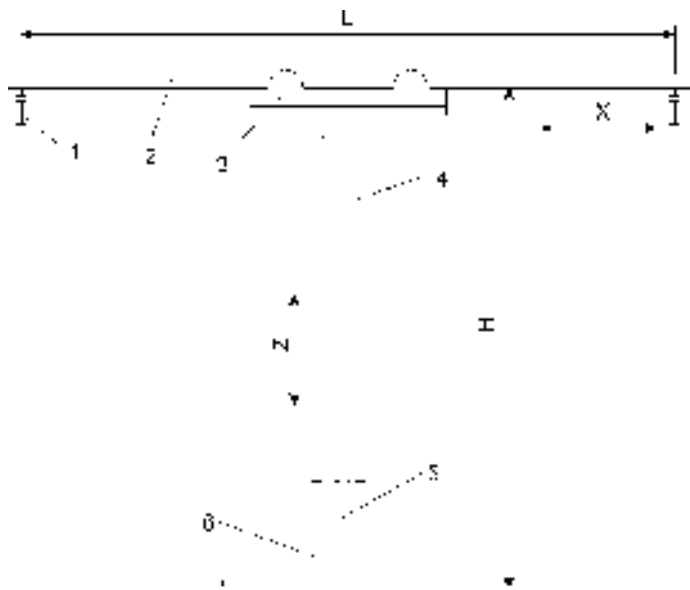


Рис. 137. Мостовой кран-штабелер

По направляющим рамы 2 в поперечном направлении перемещается тележка 3, несущая вертикальную направляющую 4. По этой направляющей вертикально перемещается грузонесущая каретка 5 с вилочным захватом 6.

Три взаимно перпендикулярных

перемещения позволяют реализовать декартову систему координат в пространстве склада. В этой системе координат можно обеспечить требуемые траектории перемещения грузонесущей каретки с захватом, что позволяет обслуживать несколько стеллажей.

Для мостовых кранов-штабелеров пролет моста L может достигать 31500 мм, высота H – до 16200 мм, грузоподъемность – до 12500 кг. Мостовые краны штабелеры выпускаются серийно рядом отечественных предприятий.

6.2.4 Система управления складом

Для управления складом используется автоматизированная система управления, которая решает две основных задачи:

- ведение информационной модели склада,
- управление штабелирующими машинами.

При управлении штабелирующей машиной приходится решать задачу программного позиционного управления, которая может быть решена с использованием программируемого контроллера. Для ведения информационной модели склада используется микроЭВМ.

В результате, в системе управления складом можно выделить два уровня иерархии. Структура системы управления складом показана на рис. 138. Нижний уровень системы составляют программируемые контроллеры для управления рабочими циклами штабелеров (если штабелер один, то и контроллер один).

Контроллер управляет приводами штабелера, движениями захватного устройства и позиционированием штабелера в пространстве склада. Контроллер при управлении получает информации от датчиков, расположенных как на самом штабелере, так и на стеллаже-накопителе (датчики ячеек). Для ручного управления имеется пульт наладки.

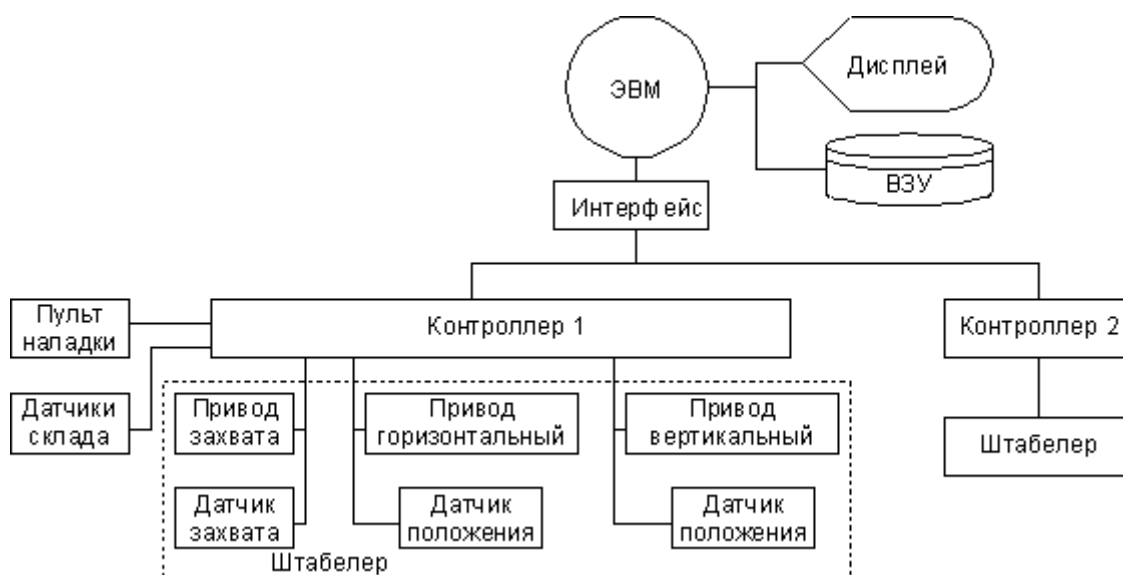


Рис. 138. Система управления складом

Программирование рабочего цикла штабелера осуществляется заданием типа цикла (поместить груз в ячейку или взять груз из ячейки) и адреса обслуживаемой ячейки. Программирование осуществляет ЭВМ склада, но может предусматриваться и ручное программирование. Для задания адреса ячейки склада могут использоваться импульсная и кодовая системы.

При импульсной системе адрес ячейки задается номером секции и номером яруса. В процессе движения штабелера вдоль стеллажа, его система управления считает число импульсов от датчиков секций и

ярусов и останавливает соответствующий привод, когда число импульсов сравняется с заданным. Недостатком метода является его низкая надежность, поскольку при пропуске или добавлении хотя бы одного импульса нужная ячейка не будет найдена.

Кодовая система предполагает установку кодовых датчиков секций и ярусов (или непосредственно ячеек). В этом случае требуемая ячейка задается кодом адреса, и система управления осуществляет перемещение манипулятора до совпадения заданных кодов и кодов считанных с датчиков склада. Даже при ошибочном считывании некоторого промежуточного кода, существует большая вероятность выхода на нужную ячейку.

Рабочие циклы штабелера могут быть одноадресными и двухадресными. При одноадресном цикле штабелер либо помещает груз с позиции приемки в ячейку склада, либо выдает груз из ячейки склада на позицию выдачи. При двухадресном цикле штабелер помещает груз, взятый на позиции приемки, в ячейку по первому адресу, а затем извлекает груз из ячейки по второму адресу и доставляет его на позицию выдачи. Двухадресные циклы сложнее одноадресных и предъявляют больше требований к системе управления. Однако использование таких циклов в общем случае позволяет повысить эффективность работы штабелера за счет уменьшения его холостых перемещений.

Ведение информационной модели склада сводится к:

- регистрации поступлений на склад и размещению поступающих грузоединиц по ячейкам склада;
- поиску запрошенных грузоединиц на складе и определению адреса ячейки склада;
- регистрации убытия грузоединицы;
- определению текущей загрузки склада;

- определению статуса ячеек склада (свободна, занята, неисправна, забронирована и пр.);
- ведению документации на выполняемые грузоперации (накладные, комплектующие ведомости и др.);
- выдаче запрашиваемой информации и подготовке отчетов.

Задача ведения информационной модели склада решается с использованием микроЭВМ. Задача эта обычно предусматривает работу в автоматизированном режиме диалога с оператором склада.

В качестве примера решения задачи управления складом опишем процесс управления стеллажным складом шинного производства. Груз на поддонах доставляется на приемную позицию склада. Оператор визуально контролирует груз и определяет его данные (материал, количество, входные данные), которые вводит в ЭВМ. ЭВМ регистрирует сведения и определяет адрес прохода и ячейки склада, куда направляется этот поддон.

С этого момента головной компьютер передаёт информацию о перемещении контроллеру, который обеспечивает продвижение поддона до выбранного адреса. ЭВМ фиксирует каждую произведённую операцию и передачу груза.

Функции ЭВМ сводятся к следующему: ведение информационной модели склада; отыскание свободных ячеек для складирования груза; отыскание ячеек, содержащих выгружаемую тару по принципу "первый вошёл – первый вышел "; выдача команд программируемым контроллерам; контроль и комплексный надзор за выполняемыми ими операциями.

6.2.5 Типовые компоновки автоматизированных складов

Размещение автоматизированного склада в ГПС зависит от ряда факторов: тип и характер производства, тип внутрицехового транспорта и АТС, особенности производственного корпуса,

характеристики самого склада. Наиболее рациональной является такая компоновка, когда склад максимально приближен к технологическому оборудованию.

Компоновка самого автоматизированного склада определяется количеством и вместимостью стеллажей-накопителей, типом штабелирующей машины, требованиями к размещению позиций приемки и выдачи грузоединиц и другими требованиями, определяемыми особенностями применения склада. Тем не менее, можно выделить некоторые типовые компоновки, которые встречаются наиболее часто.

На рис. 139 показаны типовые компоновки стеллажных автоматизированных складов, применяемых в ГПС. На рисунке приняты следующие обозначения: 1 – стеллаж-накопитель, 2 –

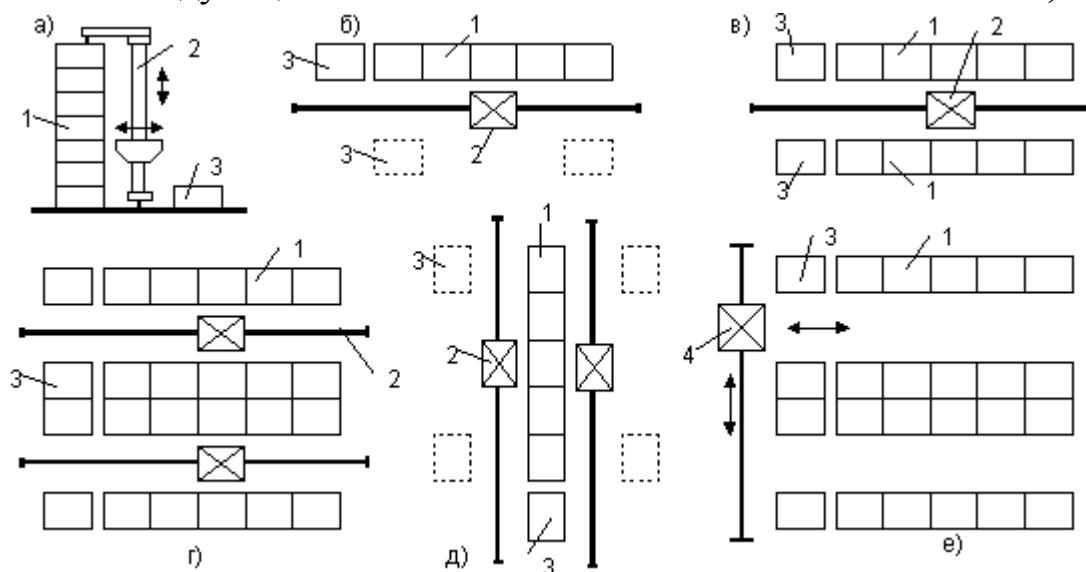


Рис. 139. Компоновки автоматизированных складов

стеллажный кран-штабелер, 3 – приемные и выдающие позиции, 4 – мостовой кран-штабелер.

Для складов небольшой емкости часто используется однорядная компоновка, представленная на рис. 139, а, б. На рис. 139, а показана вертикальная проекция склада, а на рис. 139, б – его планировка. Вдоль стеллажа 1 перемещается стеллажный кран-штабелер 2. Позиции приемки и выдачи могут размещаться в один ряд со

стеллажом или устанавливаться в параллельную линию. Однорядная компоновка обеспечивает свободный доступ к стеллажу и позициям приемки-выдачи, однако имеет ограниченную емкость склада.

На рис. 139, в показана двухрядная компоновка с одним стеллажным краном-штабелером. Позиции приемки-выдачи в этом случае можно расположить только с торца стеллажей. Доступ к самим стеллажам затруднен, но емкость склада возрастает в два раза.

На рис. 139, г приведена многорядная компоновка склада с несколькими стеллажными кранами-штабелерами. Такая компоновка получается при параллельном размещении двухрядных компоновок. Каждая пара стеллажей обслуживается своим стеллажным краном-штабелером. Используется компоновка для построения складов большой емкости. Большое количество кранов-штабелеров удорожает склад.

Особенностью компоновки на рис. 139, д является использование двух стеллажных кранов-штабелеров для обслуживания одного стеллажного накопителя с двух сторон. Такая компоновка имеет смысл, если краны-штабелеры кроме функции обслуживания стеллажей выполняют также функции транспортирования при обслуживании внешних позиций. Компоновка позволяет расширить возможности взаимодействия склада с внешней технологической средой и реализовать дополнительно функции автоматизированной транспортной системы.

Компоновка на рис. 139, е относится к многорядному стеллажному складу с мостовым краном-штабелером. В отличие от компоновки 139, г, в данном случае все стеллажи-накопители обслуживаются одним краном-штабелером, что упрощает систему. Компоновка применяется для крупных складов большой емкости.

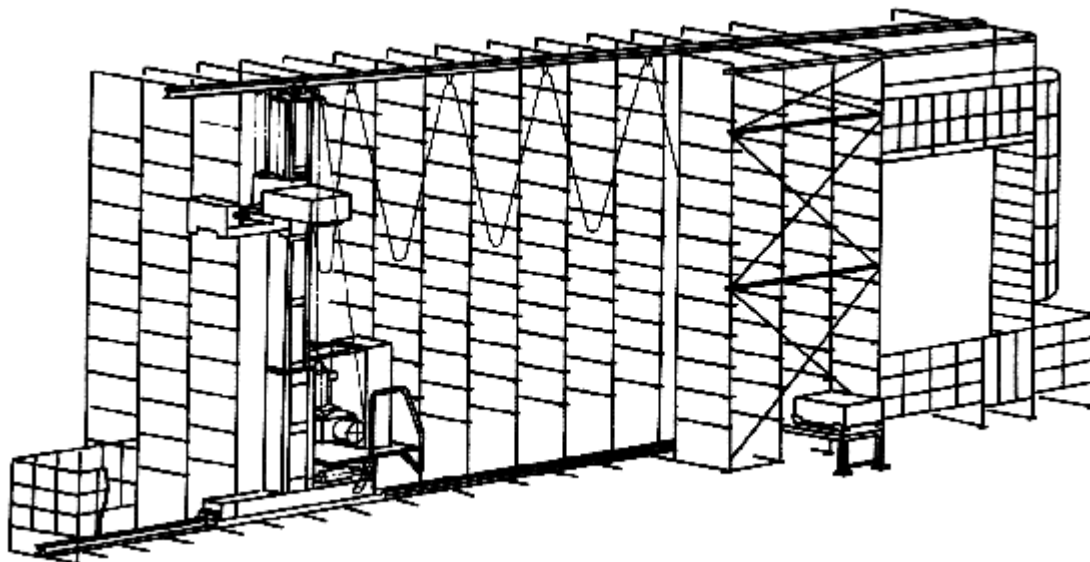


Рис. 140. Комплектный автоматизированный склад

Мостовой кран-штабелер может не только обслуживать накопители, но и выполнять дополнительные функции, например, погрузку грузоединиц на транспортные средства.

Пример комплектного автоматизированного склада для тарно-штучных грузов показан на рис. 140. Склад предназначен для хранения и выдачи грузов разнообразной номенклатуры, уложенных в тару или на поддоны. Склад имеет бесполочные стеллажи с грузоподъемностью ячейки от 50 кг до 1000 кг (в зависимости от модели). Скорость перемещения штабелера горизонтальная до 120 м/мин, вертикальная – до 24 м/мин. Управление складом от ЭВМ. Максимальные габариты склада 52,7м×11,9м×2,86м. Максимальная высота укладки груза – 10 м.

6.3 Автоматизированные транспортные системы

6.3.1 Особенности транспортных систем ГПС

Автоматизированная транспортная система ГПС обеспечивает материальные потоки между модулями и оборудованием ГПС, в том числе между оборудованием и автоматизированным складом. Перемещаемыми предметами являются: заготовки, полуфабрикаты, материалы, инструмент, технологическая оснастка, тара со стружкой и свободная тара, сырье, технологические отходы.

При минимальном уровне автоматизации ГПС механообработки автоматизированная транспортная система перемещает заготовки и детали. Перемещение других предметов осуществляется механизированными средствами с участием оператора.

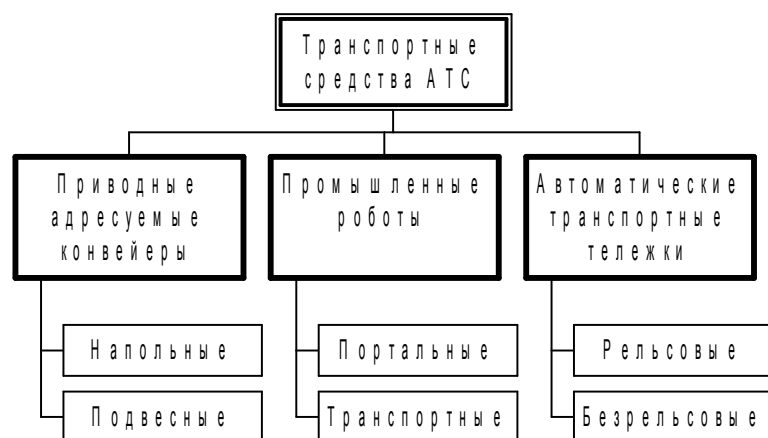


Рис. 141. Транспортные средства ГПС

АТС для ГПС создаются на основе следующих транспортных средств (рис. 141): приводные адресуемые конвейеры (напольные и подвесные), промышленные роботы (портальные и

транспортные), автоматические транспортные тележки (рельсовые и безрельсовые).

Каждое из транспортных средств имеет свои особенности и свою область применения. Рассмотрим эти особенности и возможности применения каждого транспортного средства для построения автоматизированной системы транспорта ГПС.

6.3.2 Транспортные системы на основе адресуемых конвейеров

Приводные управляемые конвейеры наряду с функцией транспорта выполняют в ГПС и функции локальных накопителей. Обычно они используются для транспортировки и накопления штучных грузов (например, спутников в ГПС механообработки). В первую очередь, приводные конвейеры можно разделить на напольные и подвесные. Приводной конвейер может также выполняться цепным, роликовым, ленточным или комбинированным.

Напольные конвейеры-накопители состоят из ряда ветвей и имеют приёмно-передающие устройства, которые служат для передачи транспортируемых грузоединиц между ветвями конвейера. Кроме этого такие конвейеры оснащаются приёмно-передающими устройствами для обслуживания технологического оборудования, устройствами фиксации грузоединиц на конвейере, устройствами считывания кода грузоединиц, промывочными камерами и др.

Пример АТС на основе напольного приводного адресуемого конвейера показан на рис. 142. Эта АТС используется для

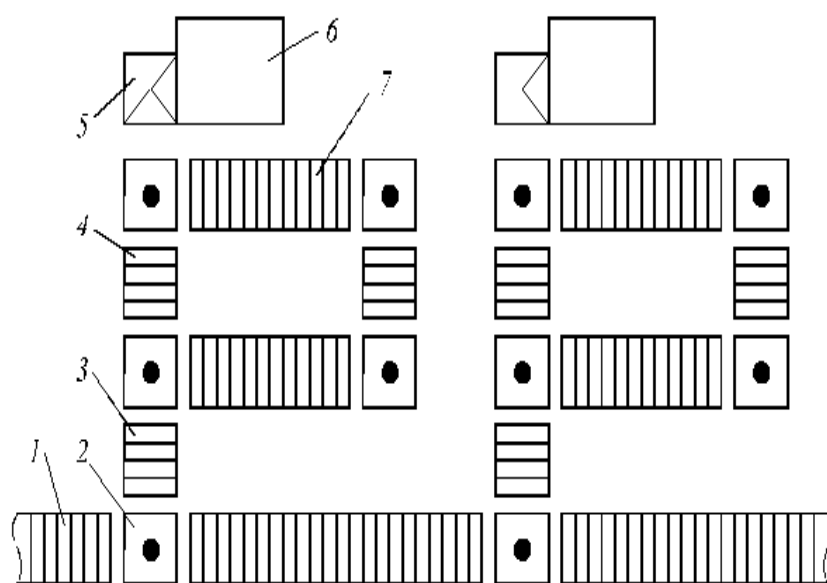


Рис. 142. Напольный автоматический конвейер

транспортирования
в ГПС
механообработки и
построена на
основе роликовых
приводных
конвейеров.
Каждый станок 6
имеет локальный
конвейерный
накопитель,
состоящий из

четырёх взаимно перпендикулярных ветвей 4 и 7.

Эти локальные накопители соединены с центральным роликовым конвейером-накопителем 1 секциями 3. Передача спутников с конвейеров на станки и обратно происходит через приёмно-передаточные устройства 5.

Заготовки, установленные на спутниках, поступают на центральный роликовый транспортёр-накопитель, который по программе передаёт их на локальные накопители. На локальных накопителях отдельных станков одновременно может находиться несколько спутников с заготовками различного типоразмера. С помощью автоматических приёмно-передающих устройств спутник передаётся на стол станка и обратно.

Спутник с обработанной деталью локальным транспортёром подаётся на центральный транспортёр-накопитель, который транспортирует его на склад готовых деталей. Ветви транспортёров стыкуются через угловые приёмно-передающие устройства 2 (подъемно-поворотные столы), обеспечивающие передачу спутника с одной ветви на другую. Управляется транспортная система от ЭВМ. Автоматизированная транспортная система на базе конвейеров является стационарной системой.

Стационарные конвейерные системы требуют значительных производственных площадей и становятся помехой при необходимости перепланировки ГПС. Для передачи грузов между ветвями конвейеров и изменения ориентации груза на конвейере используются различные подъемно-поворотные столы и манипуляторы.

На рис. 143 показан пример манипулятора для перекладки заготовок корда с конвейера диагонально-резательной машины на стыковочный конвейер каландровой машины, используемый в шинном производстве. Манипулятор состоит из транспортёра 1,

устройства отбора 3, пульта управления (на рисунке не показан), вентилятора 2, привода, поворотного привода 4, привода поворота.

Транспортёр выполнен из клиновых ремней, надетых на шкивы. Приводные шкивы ремней крепятся на вал. Ведомые шкивы устанавливаются в натяжных блоках. Часть клиновых ремней помещена в кассеты между валом и натяжными блоками.

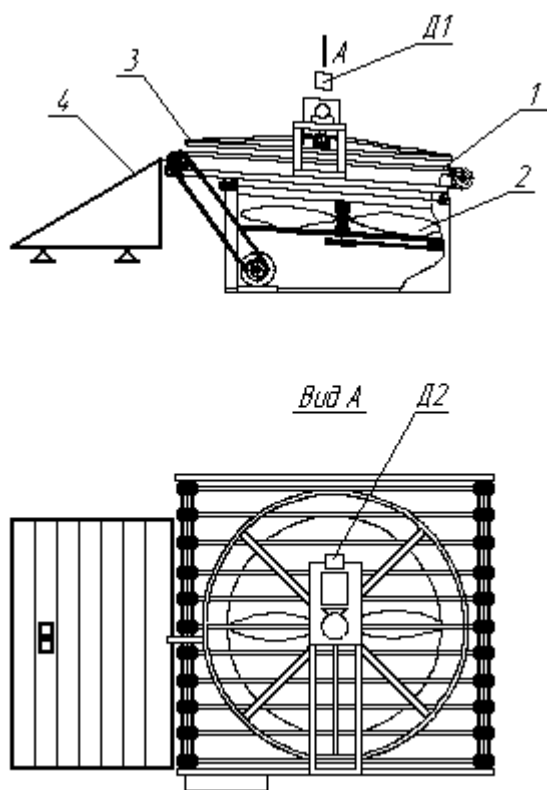


Рис. 143. Манипулятор для конвейера

Устройство отбора предназначено для плавной передачи заготовки корда от транспортёра манипулятора на цеховой стыковочный транспортёр с применением воздушной подушки и для регулирования момента подачи заготовок от транспортёра на стыковочный стол. Устройство отбора состоит из каркаса, под которым смонтирован осевой вентилятор.

Верхняя плоскость каркаса закрыта плитой с сеткой сквозных отверстий диаметром 4 мм,

предназначенных для создания воздушной подушки под передаваемыми заготовками. Внутри каркаса установлена управляемая рычагом заслонка, перекрывающая поток воздуха (создаваемый вентилятором), направленный в сторону стыковочного транспортёра.

Между верхней плитой и дном каркаса транспортёра имеется зазор для создания потока воздуха над лентой стыковочного транспортёра. Над стыковочным транспортёром устанавливается осветитель и светоприёмник Д, улавливающий отражённый сигнал от

пластины, закреплённой одним концом на каркасе, другим – свободно лежащим на ленте стыковочного транспортера.

С точки зрения экономии производственных площадей определённые преимущества имеют подвесные конвейеры. Такие конвейеры имеют замкнутую петлевую форму. Привод обеспечивает перемещение грузонесущих тележек по направляющим конвейера (обычно по монорельсу).

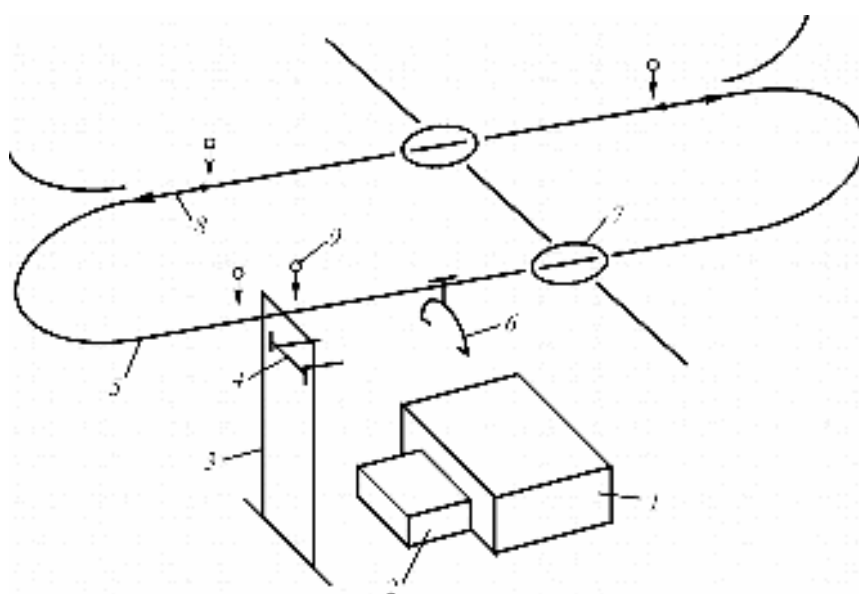


Рис. 144. Автоматический подвесной конвейер

В состав транспортной системы на базе подвесного конвейера (рис. 144) входит подвесной замкнутый конвейер 5, с грузонесущими тележками 6, в захваты которых устанавливается тара с грузом. Передача тары в захваты грузонесущих тележек производится с помощью подъемно-опускных станций 3, которые имеют подъемные каретки 4. Конвейер обслуживает оборудование 1, оснащенное загрузочно-разгрузочными устройствами 2.

Обработанные изделия загружаются в тару и передаются на конвейер. Последний транспортирует тару к подъемно-опускной станции, вильчатым захватом которой тара забирается из захвата грузонесущей тележки конвейера и опускается до уровня действия

транспортных средств цехового назначения (например, до уровня приёмных позиций склада).

При подаче заготовок к станкам тара с заготовками поступает к подъёмно-опускной станции, которая перегружает тару на подвесной конвейер и последний доставляет тару к нужному станку.

Для изменения маршрутов монорельс имеет автоматические стрелки 8 и поворотные круги 7. Для адресации грузов служат установленные на маршрутах путевые выключатели 9. Используя прямые и криволинейные секции монорельса, автоматические стрелки и поворотные круги, можно создать сложную разветвленную транспортную систему.

На базе подвесных конвейеров разработаны подвесные транспортные робототехнические системы в виде монорельсовых конвейерных систем. Они достаточно универсальны, занимают минимальные производственные площади. Их недостатком является необходимость применения дополнительных подъёмно-опускающих устройств между уровнями транспортирования и рабочими позициями в цехе, а также средств для установки, снятия и ориентации перемещаемых грузов. Вторым недостатком – постоянство трассы, задаваемой монорельсом.

В монорельсовой конвейерной системе типа AZT по монорельсовому пути, составленному из прямолинейных и криволинейных секций, перемещаются приводные грузонесущие или буксирующие тележки, оснащённые грузозахватами. Переход тележек с одного монорельса на другой происходит с помощью автоматических стрелок.

Для установки и съёма грузов служат подъёмно-опускающие станции. Эти станции опускают секцию монорельса вместе с тележкой до уровня приёмного стола, где и происходит съём или установка груза. Число таких станций определяется потребностью. Тележки могут останавливаться в любой точки монорельса. В местах

пересечения монорельсов устанавливаются поворотные круги. Управление конвейером осуществляется от ЭВМ.

Грузоподъёмность тележек для разных моделей лежит в пределах 100–1000 кг. Скорость перемещения до 0,8 м/с. Погрешность позиционирования составляет ± 5 мм. Подъёмно-опускающие станции обеспечивают максимальный подъём на 30 м. Система управления позволяет задавать 511 адресов. Система монорельсов, стрелок и поворотных кругов дает возможность реализовать сложный разветвленный маршрут с пересечениями.

Подвесные толкающие конвейеры широко применяются в различных отраслях промышленности, в том числе шинной и резинотехнической. Они позволяют, в отличие от других типов подвесных конвейеров, отключать или подключать подвески с грузом от тяговой цепи и переводить их на другие пути. Это, в свою очередь, даёт возможность связывать между собой большое число технологических операций. Широкое распространение получили конструкции подвесных конвейеров фирмы "ФАТА" (Италия).

Дальнейшим усовершенствованием известных конструкций является устройство толкающего конвейера фирмы "АНЧОР" (США) со спаренными каретками. Конвейер (рис. 145) состоит из передней 14 и задней 13 кареток, тяговой цепи 5 с поводками 2 и кулачками 8. Передняя каретка имеет переднюю 3 и заднюю 1 собачки, задняя – кулачковую планку 4, два языка 9, образованных пазом, ширина которого больше толщины передней и задней собачек передней каретки. Ролик 6 движется по двутавровому пути 7. Передние 14 и задние 13 каретки соединяются траверсой 11 и движутся по пути, образованному двумя швеллерами 10. Задняя каретка имеет эксцентриковый ловитель 12, срабатывающий при подъёме в случае обрыва тяговой цепи.

Накопление спаренных кареток происходит следующим образом. При останове (рис. 145, б) срабатывает пневмоцилиндр 15,

опуская с помощью рычага 16 копир 18 на полку одного из швеллеров пути 17, по которому движутся каретки.

Нижняя часть поводка наезжает на копир и плавно выводится из зацепления с передней собачкой каретки. Двигаясь дальше по инерции, каретки передней собачкой наезжают на язык копира, перекрывающий просвет между швеллерами пути для кареток.

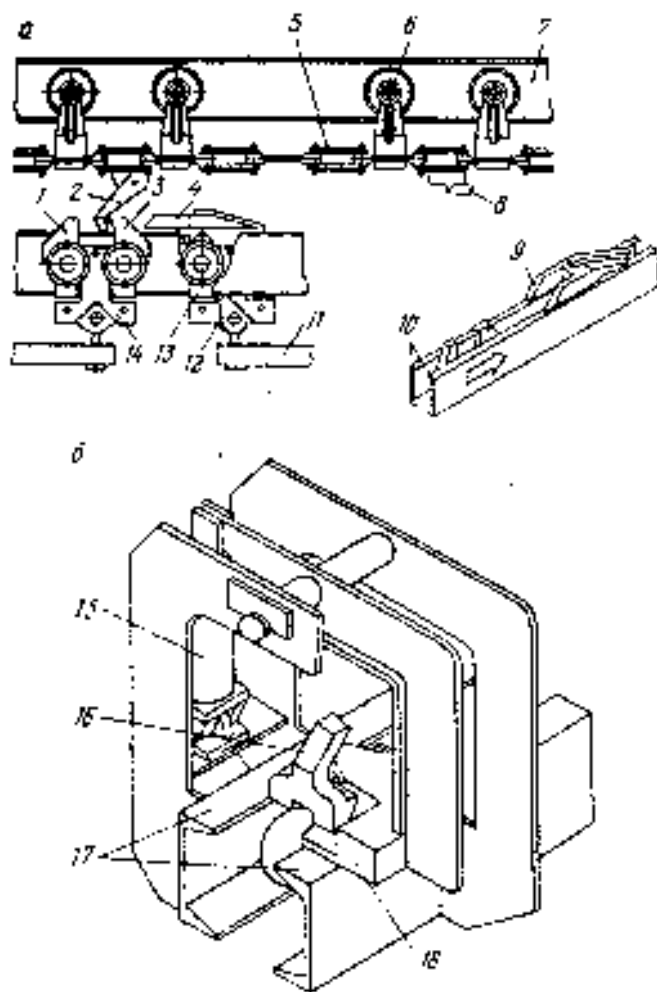


Рис. 145. Подвесной толкающий конвейер

Передняя собачка откидывается на своей оси, при этом язык копира проходит между ней и задней собачкой и возвращается в исходное состояние из-за смещения центра тяжести (по отношению к оси). Язык копира упирается в заднюю собачку и останавливает подвеску. Передняя каретка следующей подвески передней собачкой въезжает в паз задней каретки уже остановившейся подвески, и поводок выводится из зацепления с передней

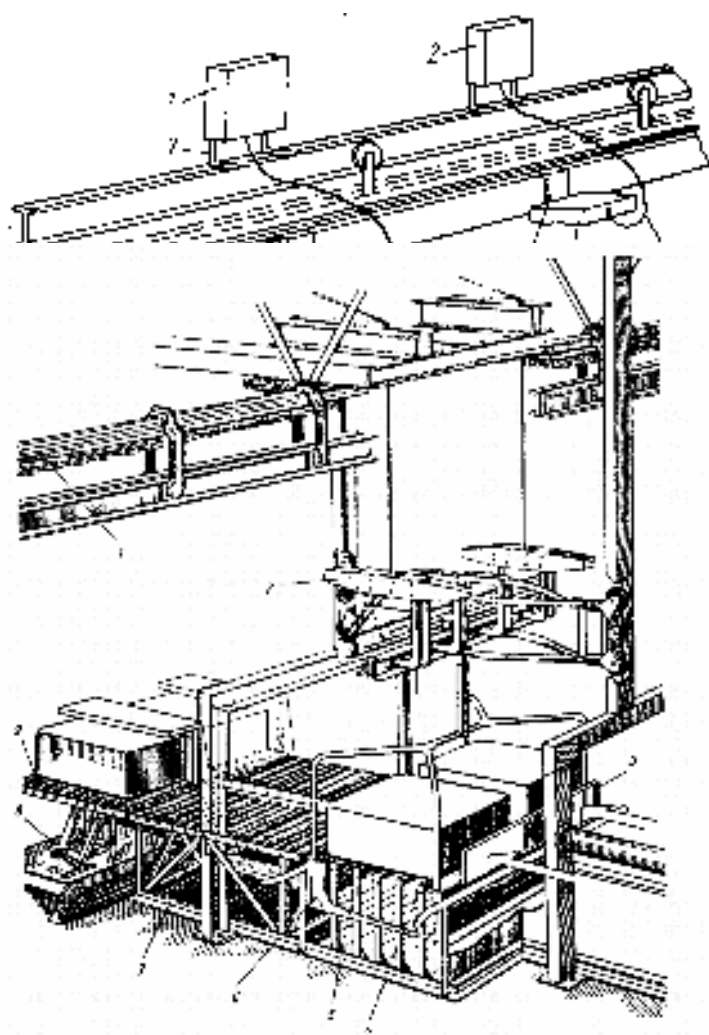
собачкой, скользя утолщённой частью по языкам 9 (рис. 145, а) этой каретки.

Система магнитного адресования, применяемая на подвесных толкающих конвейерах фирмы СФС (Франция), относится к системам распределительного адресования, когда сведения передаются с помощью подвижных элементов, расставленных вдоль трассы.

Система (рис. 146) позволяет фиксировать на кодовом датчике наименование груза и определять его адрес. Максимальное число наименований груза и число адресов – 255. Во время прохождения держателя кода 8 под коробкой адресователя 6 магнит, предварительно установленный на "север-юг", действует герконовый выключатель, который даёт импульсный сигнал синхронизации.

При этом происходит разряд конденсатора через катушку адресователя и намагничивание стальной пластинки на держателе кода. Можно получить или положительную или отрицательную индукцию во время разрядки конденсатора.

Адресователь записывает на кодоносителе информацию о транспортируемом грузе магнитным способом в форме двоичного кода. Роль адресователя заключается в отборе кодовых комбинаций. Отбор производится по команде от автоматической системы или от оператора.



Определитель служит для расшифровки информации, содержащейся на кододержателе для каждого наименования груза. Запись и считывание производится магнитным путем через воздушный зазор (2-3 мм), сохраняемый постоянным благодаря принципу устойчивости блока "адресователь-определитель".

Рис. 147. Станция автоматического конвейера

Для перемещения кип натурального каучука со склада к участкам подготовки применяются различные системы, в том числе с конвейерами толкающего типа и автоматическим адресованием груза. На рис. 147 показано автоматическое разгрузочное устройство толкающего приводного конвейера: 1 – толкающий конвейер, 2 – подъемно-опускная секция, 3 – пневматический толкатель, 4 – стол с рольгангом, 5 – основание стеллажа, 6 – каретка, 7 – приемный стол с рольгангом, 8 – тележка, 9 – поворотные рольганговые секции.

Толкающий конвейер 1 доставляет по заданному адресу каретку 6 с кипами каучука, опирающимися на щелевое основание стеллажа 5. Затем каретка автоматически отключается от постоянно движущейся цепи конвейера, а подъемно-опускная секция 2 опускает её на рольганговый стол 4. При опускании рольганги стола 4 входят в щели основания стеллажа 5.

После опускания каретки 6 пневмотолкатель 3 перемещает кипы каучука на приёмный рольганговый стол 7. По возвращении пневмотолкателя 3 в исходное положение, подъемно-опускная секция 2 поднимает каретку, затем каретка подхватывается толкающим конвейером и возвращается на склад для приёма новых кип каучука.

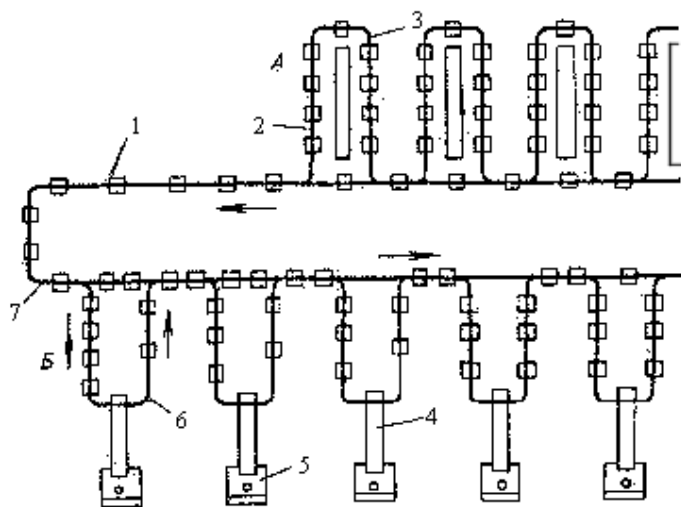


Рис. 148. Конвейерная АТС шинного производства

С приёмного рольгангового стола 7 кипы натурального каучука перемещаются на тележки 8 с поворотными рольганговыми секциями 9.

Общая схема автоматической транспортной конвейерной системы, обслуживающей

технологический процесс подготовки каучуков, показана на рис. 148, где: 1 – транспортный контейнер, 2 – толкающий конвейер, 3 – петли конвейера, 4 – загрузочный ленточный конвейер, 5 – резиносмесительные технологические агрегаты, 6 – петли толкающего конвейера у резино-смесителей, 7 – главный конвейер. А – участок централизованной подготовки и развески каучуков, Б – участок резиносмесительных агрегатов.

Каучуки всех типов и марок (количество которых в производстве резинотехнических изделий превышает 30) развешиваются в отдельном помещении, затем в соответствии с рецептурой резиновых смесей из них в контейнерах 1 комплектуются навески.

Контейнер маркируется и устанавливается на приёмное устройство толкающего конвейера 2, петли 3 которого проходят по отдельным участкам централизованного отделения развески.

Наличие ответвлений толкающего конвейера на указанных участках даёт возможность, после освобождения контейнеров у резиносмесителей 5, загружать неподвижные контейнеры новыми навесками каучуков. В то же время, загруженные контейнеры, по каким-либо причинам прошедшие мимо петель 6 конвейера, расположенных у резиносмесителей 5, могут курсировать по замкнутому контуру главного конвейера 7 до тех пор, пока не будут приняты на заданную петлю. На приёмных устройствах толкающего конвейера есть возможность переадресования контейнера, что придаёт системе большую гибкость. При средней скорости толкающего конвейера 16 м/мин и длине трассы 750 м время одного оборота одного контейнера составит 45 мин.

В транспортной системе предусмотрено:

- автоматический вызов контейнера по сигналам от бункера с указанием номеров резиносмесителя и номера этого бункера;
- автоматическая сигнализация адресного кода, который набирается на контейнере;

- автоматический контроль правильности набора адресного кода;
- автоматический останов контейнера около расходного бункера, куда контейнер адресован;
- автоматическая разгрузка контейнера и его возврат на загрузочную станцию.

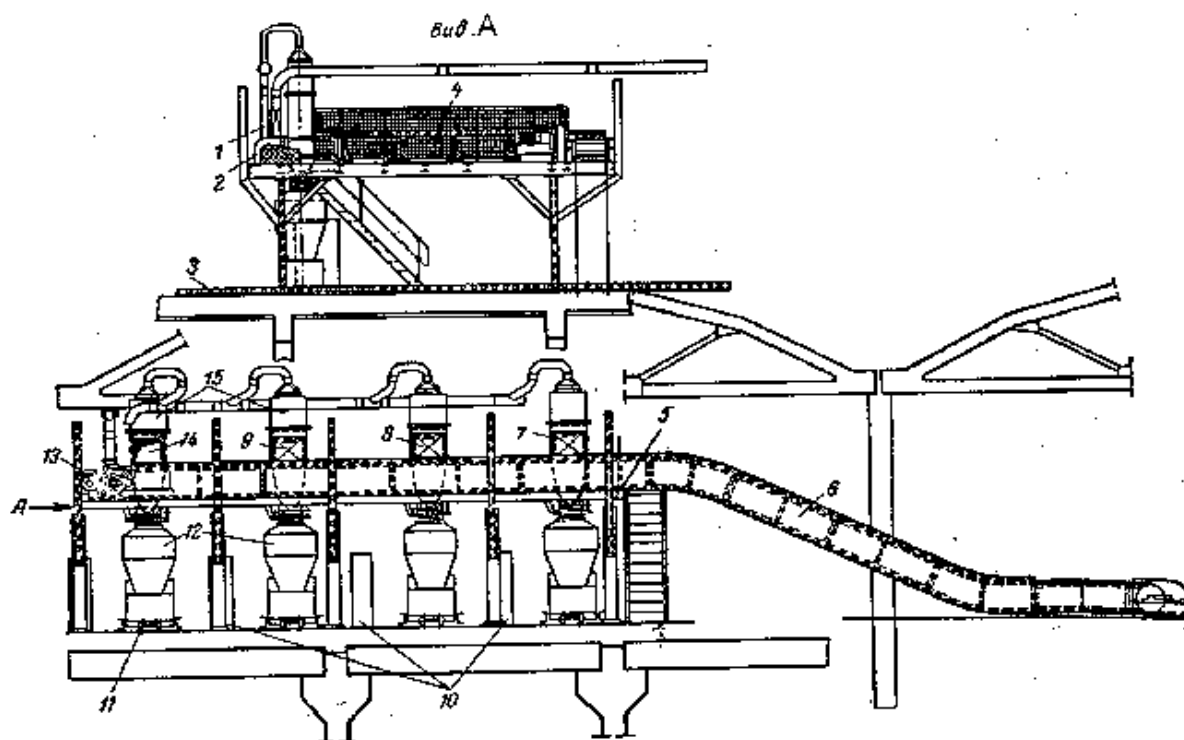


Рис. 149. Станция загрузки контейнеров

Общий вид участка загрузки контейнеров химикатами показан на рис. 149. Перед началом работы все материалы пластинчатым транспортёром 6 подаются в таре на верхнюю площадку 5. При задержке отправки очередного контейнера оператор сигнализирует об этом на центральную станцию управления развеской. Сигнал вызова

контейнера с требуемым материалом поступает на сигнальную панель 10, разделённую на секции, в которых указаны номера резиносмесителя и расходного бункера, вызывающего контейнер с материалом.

Оператор, находящийся над площадкой, устанавливает очередной свободный контейнер 12 под нагрузочный желоб. После этого оператор нажатием кнопки подаёт команду начала загрузки. После передачи сигнала на загрузку контейнера, оператор набирает на нём адрес. Контейнеру задаётся адрес зоны (номер резиносмесителя и участка расположения соответствующих расходных бункеров), а также номер бункера, для которого предназначен данный материал.

Контейнер с правильно набранным адресом с роликового стола передвигается на участок сцепления с подвижным составом. Заполненный контейнер закрывается крышкой и доставляется подвижным составом по заданному адресу. Подвижной состав с заполненным бункером автоматически останавливается над расходным бункером, к которому он был адресован, затем опускается на него до соприкосновения, при этом конвейер механически открывает его верхнюю крышку и материал выгружается из него. На складе контейнер опускается на роликовый стол, отсоединяется от подвижного состава и отправляется по рольгангу к месту загрузки.

Подвесные толкающие конвейеры используются в резинотехнических производствах и для подачи технического углерода. Специальные закрытые контейнеры, снабжённые клапанами для автоматической загрузки-выгрузки продукта, обеспечивают высокую герметичность по всей линии транспортирования технического углерода. При таком решении исключается возможность непосредственного контакта обслуживающего персонала с техническим углеродом (т.е. с сажей).

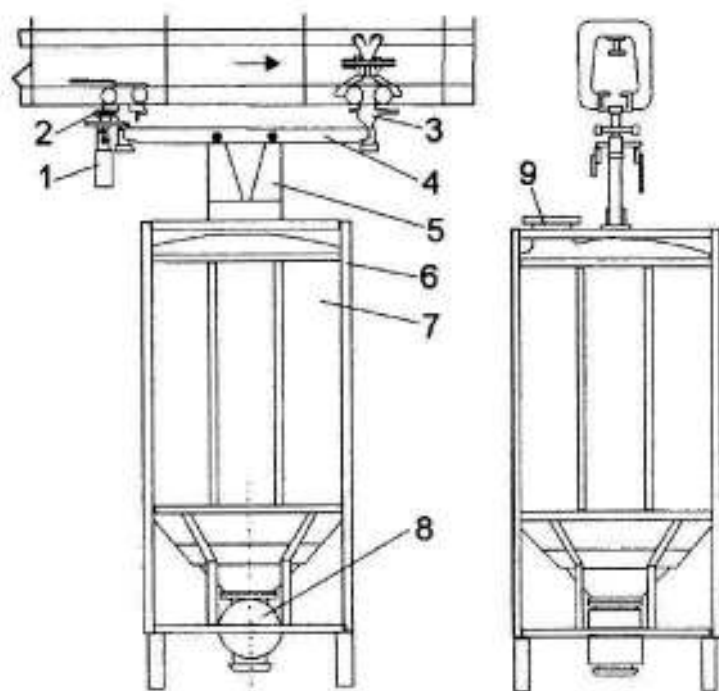


Рис. 150. Транспортный контейнер

Общий вид подвески контейнера на транспортном конвейере показан на рис. 150, где выделены следующие элементы: 1 – селектор, 2 – задняя тележка толкающего конвейера, 3 – передняя тележка толкающего конвейера, 4 – соединительная траверса, 5 – хомут, 6 – несущая рама, 7 – контейнер, 8 – разгрузочный клапан, 9 –

загрузочная

горловина контейнера.

Каждая подвеска, транспортирующая контейнер с техническим углеродом, оснащена магнитным кодовым датчиком, закреплённым на подвеске. Идентификация подвески производится путем считывания кода специальным устройством. Магнитный код защищен от стирания. Такая система опознавания позволяет постоянно транспортировать в контейнере один и тот же тип технического углерода.

Подвесные толкающие конвейеры применяются так же для выдачи гранулированных резиновых смесей и смесей в листовом виде. Со склада контейнеры с гранулами или листовой резиной выдаются в соответствии с программой, выполняемой центральной системой управления.

Каждая зона загрузки контейнеров состоит из двух ветвей, отведённых от главной магистрали подвесного толкающего конвейера.

Она имеет рольганг и подъёмный стол, автоматически подающими контейнер на подвеску.

Каждая подвеска опознаётся с помощью нестираемого магнитного кода. Считывающая головка, находящаяся на загрузочной станции, передаёт считанный код центральной системе управления. Последняя присваивает этот код выдаваемому со склада материалу и задает его маршрут до расходного бункера. Для загрузки гранул в расходные бункеры в зоне расположения, например, резиносмесителей предусмотрены разгрузочные петли, одна на каждую смесительную линию, позволяющие подвеске занимать рабочие позиции на местах питания расходных бункеров.

Если подвеска подходит к петле преждевременно, она не будет принята. В этом случае подвеска будет циркулировать по главной магистрали подвесного толкающего конвейера, пока не освободится место для её приёма на соответствующей петле толкающего конвейера.

Для разгрузки контейнеров с сыпучим материалом служат разгрузочные станции (рис. 151), взаимодействующие с конвейером: 1 – подвесной толкающий конвейер, 2 – подвеска, 3 – кантователь для контейнеров, 4 – бункер для гранул, 5 – контейнер, 6 – элеватор.

Подвески, зашедшие в разгрузочные петли, попадают на кантователь 3, который, отобрав контейнер 5 с подвески, опрокидывает его над отверстием расходного бункера 4, освобождая от доставленного груза, и снова устанавливает на выжидающую подвеску 2.

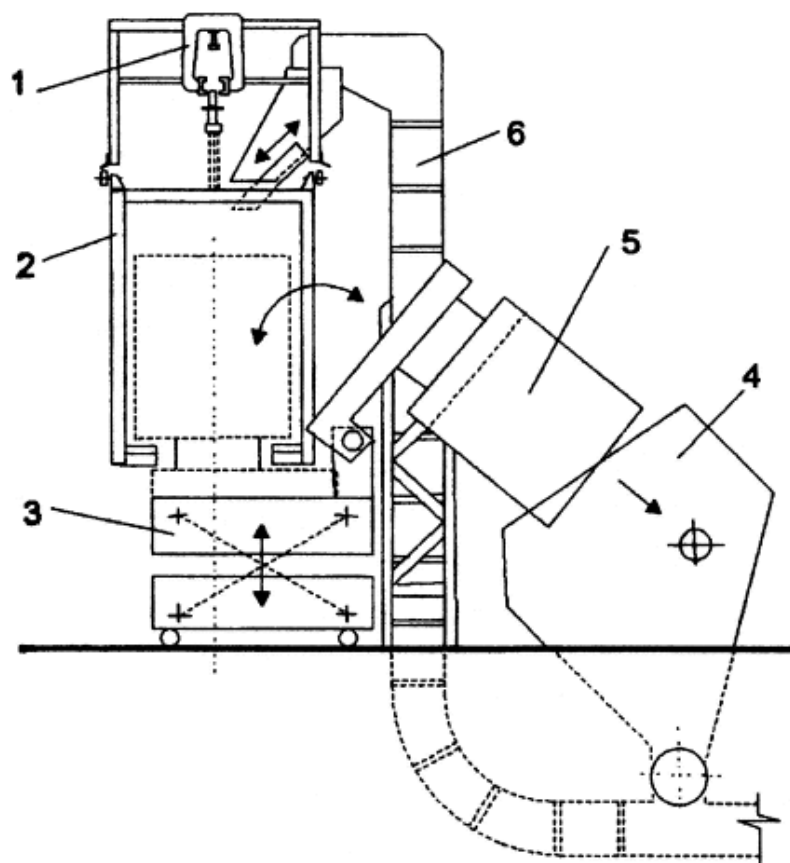


Рис. 151. Разгрузка контейнеров

В случае перехода на новый вид смеси, изготавливаемой смесителем, избыток гранул удаляется из выходного отверстия бункера с помощью элеватора 6 закрытого типа, который разгружает гранулы обратно в контейнер. Подвески с пустыми контейнерами или контейнерами с гранулами после

выхода из петель разгрузки попадают на участок погрузки, где контейнер забирается автоматически вертикальным перегрузчиком, опускается и направляется на подвески толкающего конвейера для подачи на склад.

На шинных предприятиях эксплуатируются автоматические системы толкающих конвейеров для приёмки обрезиненного корда и тканей к агрегатам диагонально-резательных машин. Часто такие конвейеры позволяют реализовать не только транспортные, но и складские функции.

Обрезиненный корд наматывается на специализированную каретку. Каретку с кордом заводят на перегрузочный мост, который перемещается по соответствующему отводному монорельсу. С монорельса каретка может быть введена в систему складских петель толкающего конвейера. Перед выводом каретки с перегрузочного

моста оператор с помощью переключателя набирает адрес петли, на которую должна быть отправлена каретка с кордом.

Устройство автоматического адресования и связанных с ним путевых стрелочных переводов обеспечивает поступление кареток с кордом с участков перегрузочных мостов через приёмные петли на большие и малые складские петли.

После отбора очередных кареток с обрезиненным кордом от ветвей складских петель на главный циркуляционный конвейер для передачи их к другим агрегатам все оставшиеся на ветвях складских петель каретки с кордом автоматически перемещают на один шаг вперёд по направлению к главному циркуляционному конвейеру. Транспортные системы с толкающими конвейерами обеспечивают высокую степень автоматизации процессов транспортирования и хранения обрезиненных кордов и тканей.

6.3.3 Транспортные системы на основе промышленных роботов

Промышленные роботы находят широкое применение в автоматизированном производстве. В том случае, когда рабочая зона ПР достаточно велика и перекрывает требуемую протяженность транспортных маршрутов, роботу можно поручить выполнение транспортных функций. Достаточную рабочую зону имеют порталные ПР, используемые обычно для загрузки-разгрузки и обслуживания оборудования. Кроме того созданы специальные транспортные роботы для автоматизации транспортных операций.

Портальные промышленные роботы позволяют совместить загрузку-разгрузку технологического оборудования с межоперационным транспортированием изделий между обрабатывающим оборудованием. Вследствие ограниченной длины

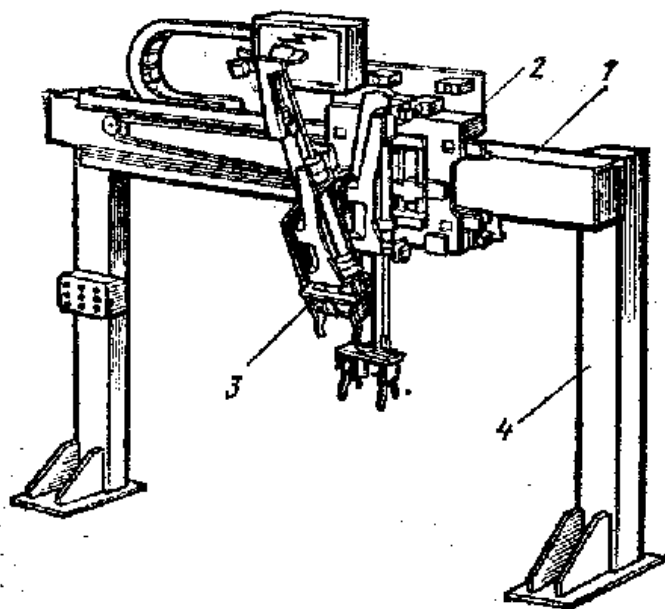


Рис. 152. Портальный промышленный робот

портала транспортирование возможно на небольшую дальность, которая для серийных транспортных роботов составляет 10–18 м.

Портальный ПР (рис.152) имеет манипулятор 2, который перемещается по направляющей 1, установленной на колонны 4. Манипулятор оснащается одной или двумя руками 3 со схватами. С помощью

схватов ПР может захватывать объект, перемещать его в пространстве и менять его ориентацию.

Пример автоматизированной транспортной системы на основе портальных ПР в ГАЛ фирмы Fuji Electric (Япония) показан на рис. 153. ГАЛ предназначена для обработки валов и включает два станка токарной группы с ЧПУ 4 и 5, обрабатывающий центр 8 и два круглошлифовальных станка с ЧПУ 10 и 11. Для загрузки-разгрузки станков и транспортирования деталей используется три портальных робота 4, 7 и 12 с двурукими манипуляторами. Управление комплексом осуществляется от ЭВМ 1.

Зацентрированные штучные заготовки подаются извне транспортёром 2. ПР 4 обеспечивает передачу заготовок на станок 3, на котором осуществляется первичная обработка заготовки вала. Затем ПР 4 разгружает станок 3 и переносит деталь на станок 5, осуществляя загрузку последнего с поворотом заготовки на 180° .

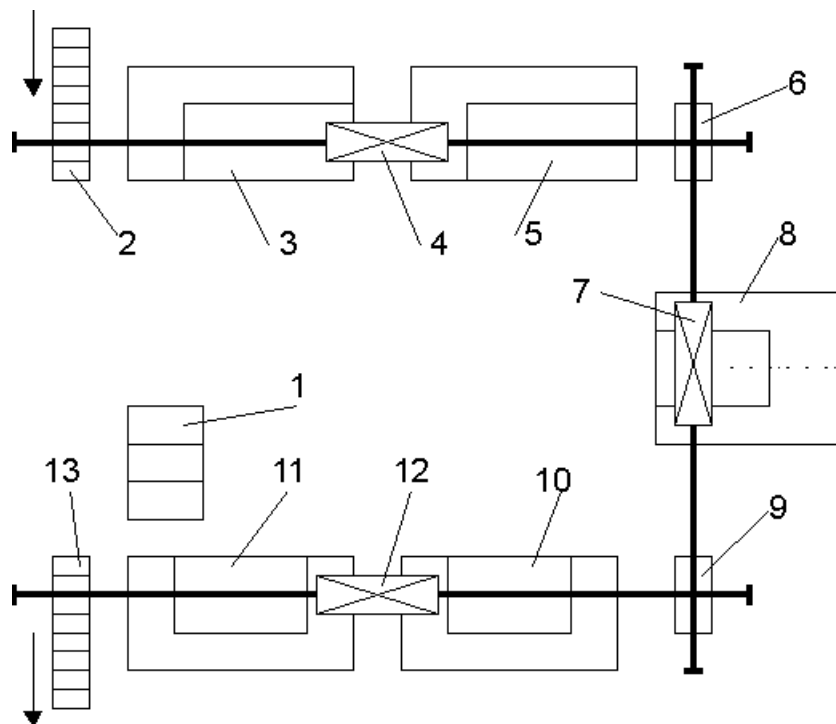


Рис. 153. АТС на базе порталных ПР

После окончания токарной обработки робот 4 передаёт деталь в промежуточный накопитель 6. Из накопителя 6 её забирает порталный робот 7 и, повернув на 90°, загружает в обрабатывающий центр 8, где фрезеруется шпоночная канавка. После

окончания обработки робот 7 переносит деталь в накопитель 9, из которого деталь забирается следующим роботом 12, который обслуживает кругло-шлифовальные станки 10 и 11. Окончательно

на
от
д
у

Н
2,
ш
к
9
эл
о
с

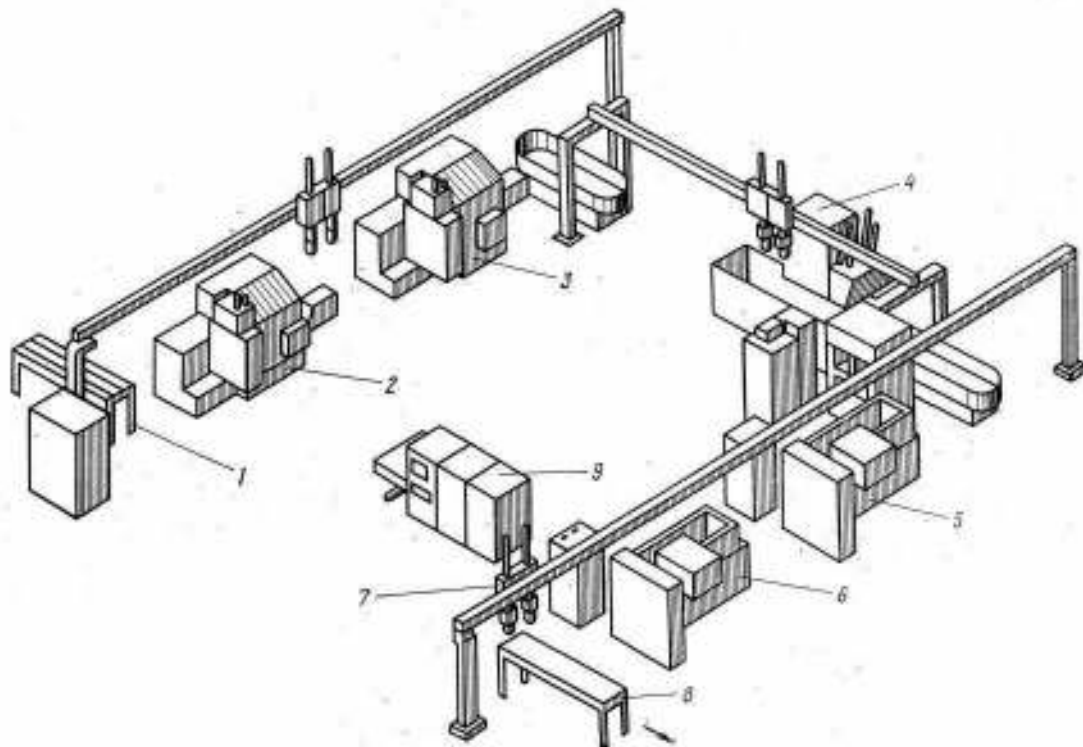


Рис. 154. Пространственная компоновка ГПС с порталными роботами

Достоинством транспортных систем на базе порталных ПР является возможность использования серийных порталных роботов. Для этой цели подходят порталные ПР: СМ 40Ф2.80.01, М40.П.05, УМ180Ф2.81, СМ160Ф2.05 с грузоподъемностью 40–320 кг и длиной портала 12–18 м.

Большими возможностями при осуществлении транспортных операций обладают транспортные роботы. Подвесные транспортные роботы тельферного типа строятся на базе тельферных тележек, перемещающихся по подвесному монорельсу и снабжённых рукой с захватным устройством.

Такие ПР позволяют автоматически захватывать тару с деталями или спутники с позиций, находящихся под трассой тележки, транспортировать их на другие позиции по командам, получаемым от специальной системы адресации.

Транспортный робот ТРТ-250-1, показанный на рис. 155, имеет грузоподъемность 250 кг и две степени подвижности. Он предназначен для внутрицехового транспортирования контейнеров с грузом.

Тельферная тележка 2 робота перемещается по системе монорельсов 1, со скоростью 0,5 м/с. Тележка имеет две телескопические направляющие 3 манипулятора 4, оснащенного автоматическими захватными устройствами. В целях безопасности захватные устройства защищены ограждающей сеткой 5. Это ограждение автоматически закрывается после захвата груза. Вертикальные перемещения руки обеспечиваются телескопическими направляющими со скоростью до 0,28 м/с. Величина вертикального перемещения составляет 3,2 м.

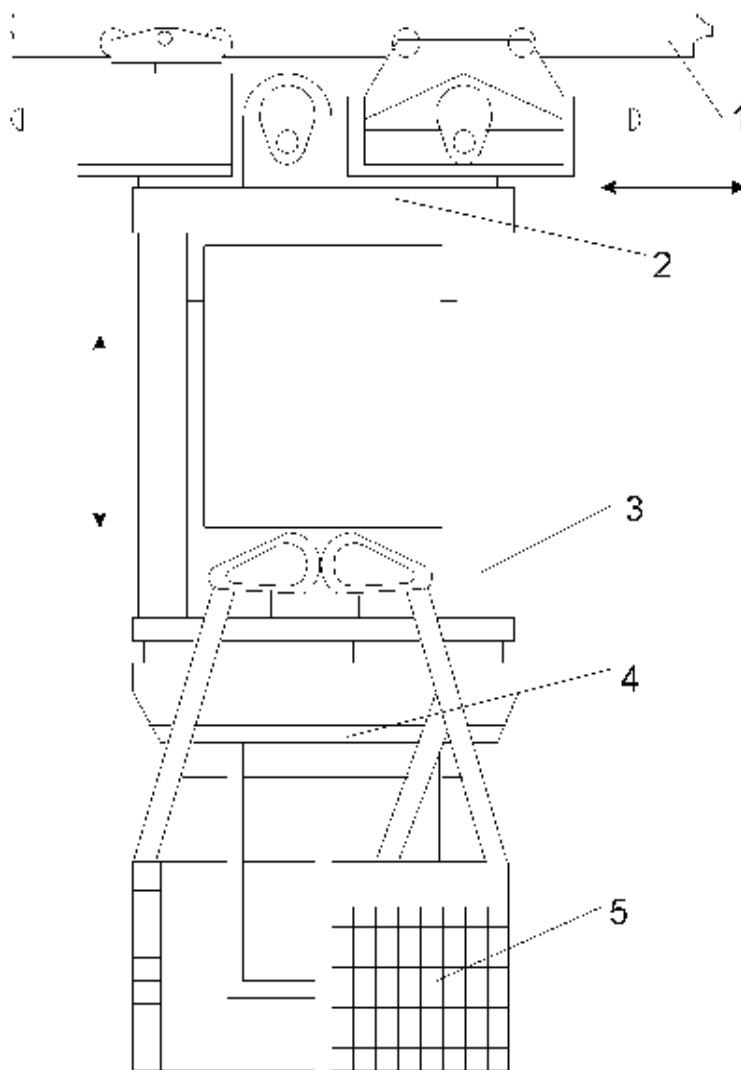


Рис. 155. Транспортный робот ТРТ-250-1

Промышленный робот имеет цикловую систему управления, которая обеспечивает автоматическое выполнение заданных операций, выбор кратчайшего пути перемещения по трассе, позиционирование в заданных позициях загрузки-выгрузки и взаимную блокировку при работе нескольких роботов.

Погрешность позиционирования составляет ± 5 мм.

Позиционирование осуществляется с

помощью двух бесконтактных индуктивных датчиков, один из которых формирует команду на отключение двигателя привода, а другой – на включение электромагнитного тормоза в точке позиционирования. Подача электроэнергии осуществляется через троллей.

Для подвешенного транспортного робота нужно прокладывать направляющий монорельс, который определяет конфигурацию маршрутов робота. Подобно направляющим подвесных транспортных конвейеров, участки монорельса могут быть прямолинейными и криволинейными, включать автоматические стрелки и поворотные круги, что позволяет создать сложную систему маршрутов.

Наряду с транспортным роботом ТРТ-250-1 выпускаются подвесные транспортные роботы РТШ-8-50, МН-ЗУМ, МПУ-7, ТРТ-500-2 с грузоподъемностью от 63 до 500 кг. Находят применение в транспортных системах также транспортные роботы зарубежных производителей. Преимуществом подвесных транспортных роботов по сравнению с подвесными адресуемыми конвейерами является наличие вертикальной управляемой координаты перемещения, что расширяет функциональные возможности робота и исключает необходимость применения подъемно-опускных станций. В том случае, когда величина вертикального перемещения робота оказывается недостаточной, используется прокладка монорельса в разных уровнях с плавным переходом между уровнями. Понижение уровня монорельса предусматривается в тех местах, где разница уровней монорельса и обслуживаемой позиции превышает величину вертикального перемещения захвата робота.

6.3.4 Транспортные системы на основе автоматических транспортных тележек

6.3.4.1 Назначение и состав автоматической транспортной тележки

Самоходные автоматические транспортные тележки, управляемые от ЭВМ и оснащенные автоматическими устройствами для загрузки и разгрузки, являются перспективным гибким средством автоматизации транспортных операций в самых различных условиях. Транспортный маршрут тележки задается программным путем (в пределах, допускаемых техническими характеристиками), что

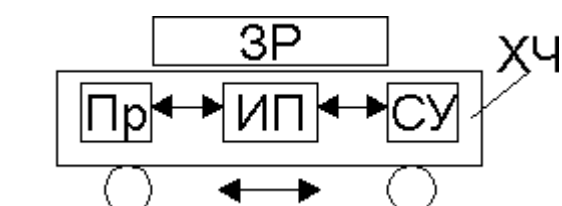


Рис. 156. Транспортная тележка

позволяет оперативно перестраивать транспортные маршруты.

Такие тележки (рис. 156) могут выполняться с использованием рельсовых направляющих для организации маршрутов движения

или же быть безрельсовыми. Последние более гибки, универсальны и требуют меньшего объёма работ по предварительной подготовке трасс движения. В тоже время рельсовые тележки более просты по конструкции и, особенно, по управлению, поскольку не требуют управления направлением движения.

В общем случае в составе транспортной тележки можно выделить следующие функциональные составляющие (рис. 156):

- ходовая часть ХЧ, оснащённая приводными и направляющими колёсами;
- загрузочно-разгрузочное устройство ЗР для автоматической загрузки-разгрузки транспортной тележки объектами транспорта;
- приводы Пр для перемещения тележки и вспомогательных операций;
- источник питания ИП (в рельсовых тележках он может быть внешним);
- система управления СУ.

В рельсовых тележках используется ходовая часть, приспособленная для движения по рельсовому пути, который должен быть проложен по трассе следования тележки. Рельсовые тележки имеют следующие основные особенности:

- наличие рельсового пути не требует управления направлением движения тележки во время её перемещения, что упрощает конструкцию тележки и управление ею;
- точность положения рельсовой тележки на трассе в направлении, перпендикулярном направлению движения обеспечивается рельсовыми направляющими и лежит в пределах 5-10 мм;
- для рельсовой тележки можно использовать кабели с целью подвода электроэнергии к приводам и передачи информационных сигналов (следовательно, нет необходимости в автономном источнике

питания, а система управления может быть удалена за пределы тележки).

Безрельсовые автоматические транспортные тележки более универсальны. Такие тележки часто называют робокарами. Робокары – это автоматически адресуемые тележки с электронным управлением, перемещающиеся непосредственно по полу, оснащённые устройствами для автоматической загрузки и разгрузки предметов транспорта.

Особенности робокаров:

- возможность движения по полу обслуживаемого помещения без использования специальных направляющих;
- необходимость постоянного управления направлением движения для выдерживания заданного маршрута;
- необходимость в автономном бортовом источнике энергии;
- невозможность использования проводных связей для обмена информационными сигналами с движущейся тележкой;
- большой диапазон возможных скоростей перемещения;
- возможность использования трасс движения совместно с другими видами транспорта.

В то же время такие тележки сложны, дороги и требуют постоянного обслуживания.

Отечественная автоматическая транспортная тележка "Электроника" предназначена для транспортирования грузов до 500 кг. Габариты тележки 2200×800×350 мм. Для движения и поворота используются электроприводы мощностью 0,75 кВт, которые питаются от бортового аккумулятора. Грузонесущая платформа подъёмная, с величиной подъёма 150 мм. Управление тележкой от встроенной ЭВМ. Собственная масса тележки составляет 300 кг.

Управление маршрутом производится с использованием оптоэлектронной системы и светоотражающей полосы. Имеется

система обеспечения безопасности с дугами безопасности. Программирование маршрута осуществляется на станциях останова с использованием бесконтактной оптоэлектронной системы обмена информацией.

Другая транспортная автоматическая тележка МП-12Т имеет грузоподъемность до 200 кг и может быть оснащена промышленным роботом с грузоподъемностью 20 кг для автоматической загрузки и разгрузки. Робот, устанавливаемый на тележку, имеет 6 степеней подвижности и точность позиционирования ± 1 мм. Для управления тележкой используется бортовая ЭВМ «Электроника 60». Управление маршрутом с помощью оптоэлектронной системы и светоотражающей полосы.

Скорость движения загруженной тележки 0,5 м/с, точность позиционирования ± 10 мм. Имеется система безопасности.

Автоматическая транспортная тележка FLEXMATIC (Франция) имеет электронную систему управления. Маршрут определяется и оптимизируется ЭВМ согласно типу детали, технологическому процессу и возможным вариантам перемещения.

Трасса следования тележки задаётся изолированным электрическим кабелем, проложенным в полу на глубине 2 см. Переменный ток, проходящий по кабелю, возбуждает электромагнитное поле, которое воспринимается катушкой, установленной на робокаре, а далее следящей системой управления. Смонтированные в грунте и на каре датчики служат для обмена информацией между робокаром и ЭВМ.

Привод электрический, источник питания – аккумулятор с запасом энергии на 4–5 ч работы. Скорость движения 0,75 м/с. Грузоподъемность – 1500 кг. Аккумуляторные батареи расположены в специальных контейнерах. При истощении аккумулятора

специальный обслуживающий электрокар подходит к робокару, забирает своим захватом контейнер с аккумуляторами, поднимает его и транспортирует на зарядку.

6.3.4.2 Особенности автоматических транспортных тележек

Ходовая часть автоматической транспортной тележки представляет собой шасси с ведущими и направляющими колёсами. Робокар имеет небольшой клиренс, т. к. рассчитан на движение по гладкой поверхности пола обслуживаемого помещения. Робокар должен обладать высокой манёвренностью, что отражается в конструкции их ходовой части. Применяют робокары с тремя, четырьмя, шестью и с восемью колёсами.

Хорошая маневренность у трёхколёсных робокаров, обычно используемых для перевозки малогабаритных лёгких грузов. Схема расположения колес робокара показана на рис. 157, где: 1 – ведущие колеса (приводные), 2 – поворотная люлька, 3 – направляющее (рулевое) колесо.

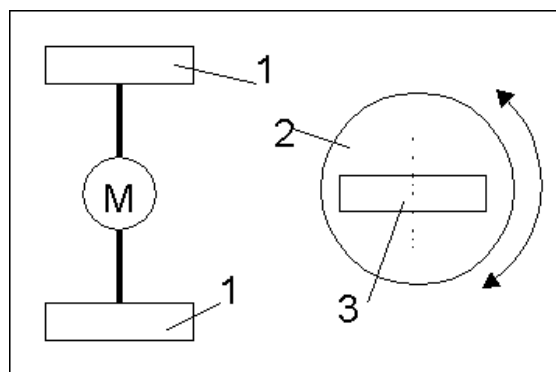


Рис. 157. Трёхколесная ходовая часть

Поворотная люлька имеет привод, что позволяет изменять направление движения поворотом рулевого колеса вокруг вертикальной оси. Недостатком трехколесных робокаров является малая устойчивость и возможность опрокидывания при крутых поворотах.

С целью повышения манёвренности при высокой грузоподъёмности используют ходовую часть с ведущими и опорными колёсами. На рис. 158 показана схема расположения колес шестиколесного робокара. Два ведущих колеса 2 расположены

посередине

робокара

(рис. 158, а). Эти колеса приводятся во вращение электродвигателями М1 и М2 через редукторы и муфты.

Свободно вращающиеся опорные колеса (ролики) 1 расположены по углам робота. Эти колеса являются самоустанавливающимися (флюгерными). Особенностью флюгерного колеса является наличие плеча между осью 4 вращения колеса 1 и центральной осью 3 поворота колеса (рис. 158, б). В результате, при изменении направления движения робота, появляется вращающий момент, поворачивающий опорные колеса в направлении движения.

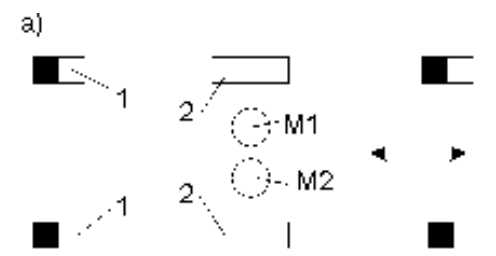
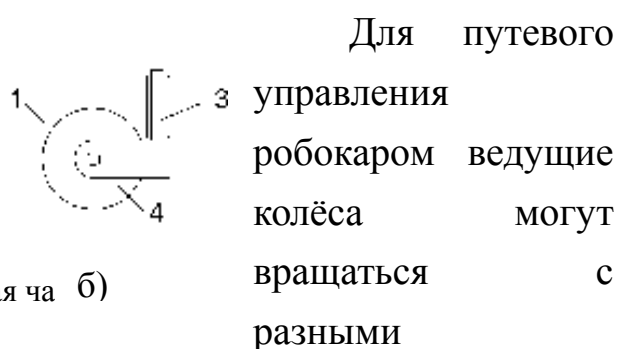


Рис. 1 а) Тестиколесная ходовая часть



Для путевого управления робота ведущие колеса могут вращаться с разными скоростями, что обеспечивает поворот робота в сторону более медленного колеса. Если ведущие колеса вращать в разные стороны, то робот развернется практически на месте. Во всех случаях роботы имеют одинаковую возможность переднего и заднего хода.

В качестве привода роботов используется электропривод с электродвигателями постоянного тока. Приводы предусматривают регулирование скорости вращения с помощью тиристорных или транзисторных регуляторов и рассчитаны на напряжение 12–27 В.

Бортовым источником питания является электрический аккумулятор, устанавливаемый на роботе. Из-за ограниченной емкости аккумулятора, обеспечиваемое им время работы тележки составляет 3–5 ч при потребляемой мощности привода 0,75–3 кВт. Поэтому аккумулятор нуждается в периодической зарядке. Используются два способа зарядки аккумуляторных батарей робота.

При первом способе зарядка производится без снятия аккумулятора с робокара. Для зарядки робокар прибывает на зарядную станцию и там аккумулятор подключается к зарядному устройству. Поскольку длительность заряда аккумулятора довольно велика, то велики и простои тележки.

При использовании второго способа аккумулятор устанавливается на робокаре в сменном контейнере, который можно заменять. В этом случае контейнер с разряженным аккумулятором удаляется и ставится на зарядку, а на робокар устанавливается контейнер с заряженным аккумулятором. Эта операция может выполняться в любом месте маршрута робокара с помощью специальных обслуживающих электрокаров.

Загрузочно-разгрузочные устройства робокаров бывают двух типов:

- подвижные грузонесущие платформы, выполняемые в виде подъёмных, раздвижных или поворотных столов;
- промышленные роботы, установленные на робокаре.

Первый способ имеет более простое техническое решение, лучшие массогабаритные характеристики и позволяет загружать-разгружать тяжёлые грузы в пределах грузоподъёмности робокары.

При использовании промышленных роботов предельная масса одной грузоединицы будет определяться грузоподъёмностью промышленного робота, которая для известных конструкций робокаров лежит в пределах 10-50 кг. Следовательно, в этом случае невозможно обеспечить транспортирование единичных грузов большой массы.

Кроме того, сама конструкция робота существенно сложнее и тяжелее конструкции подвижной грузонесущей платформы. Робот сложнее в управлении, его потребление энергии выше.

Достоинством использования промышленного робота является расширение функциональных возможностей робокара, однако, при

осуществлении сравнительно простых циклов взаимодействия робокары с приёмно-передающими позициями складов и ГПМ эти возможности остаются невостребованными.

В то же время робокар в сочетании с промышленным роботом позволили создать универсальный инструментальный манипулятор для обслуживания инструментальных магазинов ГПМ. И в этом случае использование промышленного робота на робокаре себя полностью оправдало.

Автоматизация загрузки-разгрузки робокара с использованием подвижных грузонесущих платформ иллюстрируется рис. 159, где 1 – робокар, 2 – гидравлический подъемник, 3 – кронштейны станции обслуживания, 4 – центрирующие штыри, 5 – грузонесущая платформа, 6 – транспортируемый груз, 7 – приводной роликовый конвейер приемного устройства, 8 – вращающиеся ролики, 9 – транспортируемый объект, 10 – роликовый конвейер робокара, 11 – телескопический стол, 12 – груз, 13 – платформа робокара.

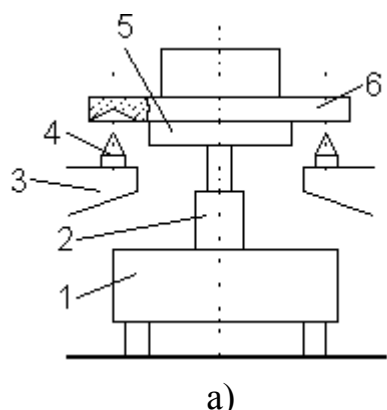
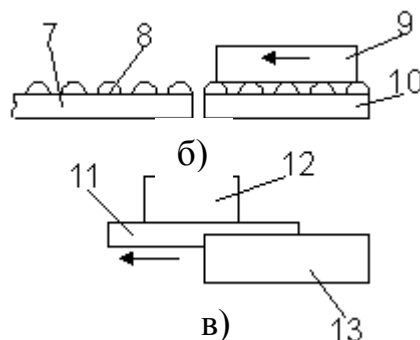


Рис. 159. Способы загрузки-разгрузки робокара



Наиболее просто задача загрузки-разгрузки робокара решается с использованием встроенного гидравлического

подъёмника грузонесущей платформы (рис. 159, а). Робокар с опущенной в нижнее положение грузонесущей платформой 5 входит между двумя опорными кронштейнами 3, на которые установлен груз 6. Затем платформа поднимается в крайнее верхнее положение, чтобы снять груз с направляющих, после чего робокар продолжает движение.

При загрузке-разгрузке необходимо обеспечить точное позиционирование робокара относительно станции обслуживания. В том случае, когда точности позиционирования, обеспечиваемой системой управления робокаром, оказывается недостаточно, используют дополнительные механические средства. Достаточно часто используются конические направляющие штыри 4 и направляющие отверстия.

Высота подъёма грузонесущей платформы составляет 100–200 мм. Для подъёма платформы может использоваться электромеханический привод. Система с подъёмной грузонесущей платформой пригодна для обслуживания складов и промежуточных накопителей.

Для обслуживания приемных устройств станков и другого технологического оборудования чаще всего разгрузка-загрузка происходит вбок от робокара. В этом случае приходится использовать разгрузочно-загрузочные устройства бокового действия. В качестве таких устройств могут использоваться раздвижные (телескопические) столы, секции приводных конвейеров, поворотные столы и др.

Пример выполнения устройства загрузки-разгрузки в виде роликового конвейера показан на рис. 159, б). Если роликовый конвейер имеет привод, то при включении привода вращения роликов 8 груз 9 будет перемещён с грузонесущей платформы 10 на приемное устройство 7 или наоборот.

В том случае, когда роликовый конвейер не имеет привода, для перемещения груза используются специальные механизмы-толкатели или съёмники, которые устанавливаются на робокаре.

Вариант использования телескопического стола показан на рис. 159, в. Выдвижной стол 11 снабжён механизмом перемещения в направлении, перпендикулярном оси робокара. Конструктивно этот стол может быть оформлен в виде выдвигающихся направляющих для перемещения грузов.

Для фиксации груза на грузонесущей платформе могут использоваться дополнительные выдвижные упоры. Грузонесущая платформа робокара может быть двухместной или многоместной. В этом случае функциональные возможности робокара расширяются.

6.3.4.3 Управление автоматической транспортной тележкой

Задачу управления автоматической транспортной системой можно разбить на следующие составляющие:

- планирование и программирование маршрута в зависимости от полученного задания;
- путевое управление на маршруте (выдерживание направления движения и движение в местах пересечения или разветвления маршрута);
- управление позиционированием относительно обслуживаемого объекта;
- обмен информацией;
- управление загрузкой-разгрузкой;
- обеспечение безопасности движения (предотвращение наездов и столкновений);
- обеспечение информацией о положении робокара на трассе.

Планирование и программирование маршрута. Планирование маршрута является стратегическим уровнем управления и осуществляется ЭВМ на уровне управления АСУ ГПС. На этом уровне определяется загрузка робокаров, планируются и оптимизируются их маршруты.

В общем случае расчёт потребного количества робокаров может быть выполнен по формуле

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot h_i}{(3600 \cdot \eta)},$$

где t_i – цикл выполнения транспортной операции для i -ой связи из всех транспортных связей ГПС, c ; h_i – частота возникновения i -ой связи в час пик; η – коэффициент готовности робокаров.

При планировании необходимого количества робокаров целесообразно решать задачу оптимизации маршрутов, для сокращения общего потребного времени работы робокара. При планировании конкретного маршрута, в зависимости от решаемой транспортной задачи, выбирается конкретный маршрут из всех возможных для робокара маршрутов, отвечающих поставленной задаче транспортирования.

Запланированный маршрут должен быть запрограммирован для системы управления робокаром. Для программирования необходимо ввести код маршрута и при необходимости дополнительные данные.

В зависимости от уровня автоматизации ГПС находят применение три основных способа программирования маршрута, которые схематично показаны на рис. 160.

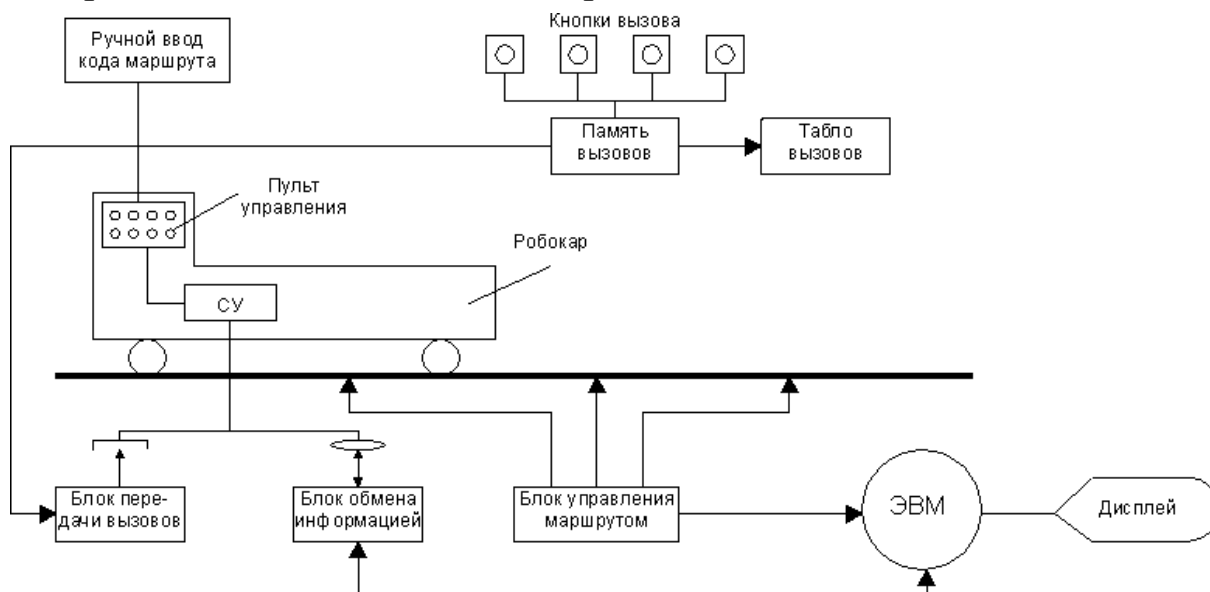


Рис. 160. Программирование маршрута транспортной тележки

В первом случае ввод кода маршрута осуществляет оператор, который, установив груз на робокар, задаёт адрес доставки на пульте управления последнего с помощью переключателей или кнопок и

нажимает кнопку "пуск". Заданный маршрут отрабатывается системой управления транспортной тележки.

Во втором случае транспортная тележка обслуживает рабочие позиции по вызову их операторов. Для вызова во всех обслуживаемых пунктах установлены кнопки вызова. Имеется устройство памяти, позволяющее запоминать факт вызова, определять приоритет вызова и ставить его в очередь на обслуживание. После освобождения транспортного средства код маршрута для очередного адреса вызова передаётся системе управления СУ транспортной тележки через блок передачи вызовов, которые устанавливаются на станциях обслуживания.

Наиболее автоматизированной является система управления от ЭВМ, которая в процессе решения задачи диспетчирования технологического процесса в ГПС выявляет очередную транспортную задачу, планирует транспортный маршрут и передает необходимую информацию о маршруте системе управления робокара.

Для отслеживания движения транспортных тележек на маршруте устанавливаются датчики, соединенные с блоком управления маршрутом. ЭВМ анализирует состояние датчиков блока управления маршрутом, определяет текущее положение робокара и передает его системе управления данные о следующем маршруте через блок обмена информацией.

Передача информации возможна либо на станциях обслуживания, либо непосредственно на маршруте. В последнем случае может использоваться, например, радиоканал для беспроводной связи ЭВМ с системой управления робокара.

Путевое управление. Для безрельсовой транспортной тележки первой задачей путевого управления – является выдерживание



Рис. 161. Типы систем путевого управления

требуемого направления движения. Для этой цели используются различные системы путевого управления (рис. 161).

Механические (электромеханические) системы управления на маршруте предусматривают использование механических направляющих, положение которых отслеживается с помощью датчика касания, закрепленного на транспортной тележке. Смещение робокара относительно направляющей приводит к изменению выходного сигнала датчика касания и система управления обеспечивает возврат робокара в исходное положение относительно направляющей. Механические системы имеют много недостатков и применяются редко.

При оптоэлектронном управлении маршрут движения размечается путём нанесения на полу обслуживаемого помещения направляющих линий вдоль требуемых маршрутов. Эти линии должны хорошо выделяться на полу. Реализуют их следующим образом:

- полоска флуоресцентной краски, рассчитанная на применение фотодатчиков, чувствительных к ультрафиолетовому излучению;
- светоотражающая металлизированная полоса или полоса из фольги, приклеенная к полу и обладающая высоким светоотражением;
- цветоконтрастная полоса, например, белая полоса с чёрной окантовкой с двух сторон.

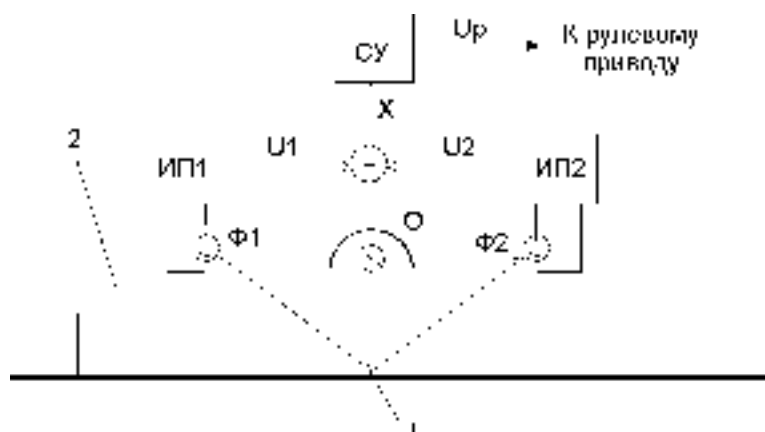


Рис. 162. Оптоэлектронная система

На робокаре закрепляется направленный источник света O , который освещает полосу 1, задающую маршрут (рис. 162). Отражённый световой поток воспринимается двумя, симметрично расположенными относительно оси робокара, фотодатчиками $\Phi 1$ и $\Phi 2$ (обычно используются высокочувствительные фотоумножители). Фотодатчики включены в схемы электронных преобразователей ИП1 и ИП2, вырабатывающих сигналы $U1$ и $U2$, пропорциональные освещённости фотодатчиков.

Эти сигналы сравниваются с помощью сумматора, и разностный сигнал X рассогласования используется для управления приводом направления (рулевыми колесами или дифференциальным приводом ведущих колес).

В том случае, когда продольная ось тележки совпадает с осью полосы 1, световые потоки обоих фотодатчиков $\Phi 1$ и $\Phi 2$ одинаковы и сигнал рассогласования X равен нулю. При смещении оси тележки относительно оси полосы появляется сигнал рассогласования и система управления изменяет направление движения тележки так, чтобы восстановить исходное положение и устранить сигнал рассогласования. В результате обеспечивается автоматическое отслеживание направления полосы, задающей маршрут.

Для повышения точности слежения и снижения воздействия световых помех может использоваться импульсный источник

освещения на основе импульсной лампы-вспышки, которая включается с определенной частотой. В результате световой поток будет носить характер периодического сигнала и путём его фильтрации можно устранить влияние фоновой засветки или импульсных помех.

Для передачи дополнительных сигналов системе управления робокара (например, о приближении к пересечению или разветвлению маршрута или к обслуживаемой позиции) на ленте маршрута делаются разрывы. Количество и длина таких разрывов позволяют кодировать некоторую информацию.

При использовании оптоэлектронной системы управления конкретные схемотехнические решения могут быть различными.

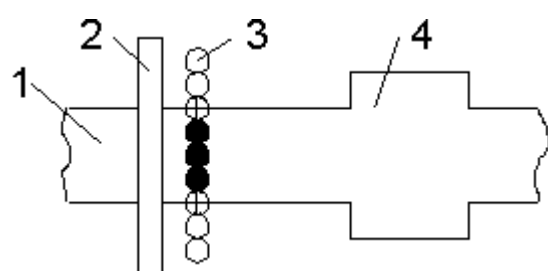


Рис. 163. Вариант фотодатчика

Например, может использоваться протяженный источник света 1 и линейка 3 фотодиаментов в виде фотодиодов (рис. 163).

Отраженный от полосы 1 свет падает на фотодиоды 3 и их выходной сигнал разделяется на два

уровня: "засвечен" и "незасвечен". "Засвечены" будут те фотодиоды, на которые падает отраженный от полосы световой поток. Некоторые фотодиоды при этом будут "засвечены" частично.

Количество "засвеченных" фотодиодов будет зависеть от ширины полосы, а положение "засвеченных" фотодиодов в линейке – от смещения датчика направления относительно полосы в перпендикулярном направлении.

Изменение ширины полосы позволяет формировать дополнительные сигналы системе управления робокаром. Например, если полоса имеет более широкий участок 4, то освещается большее число фотодиаментов, в результате чего формируется команда на останов робокара.

Недостатком оптоэлектронных систем является недолговечность разметки маршрутов и необходимость ее периодического возобновления. В этом отношении преимуществом обладает индуктивный метод разметки и управления маршрутом.

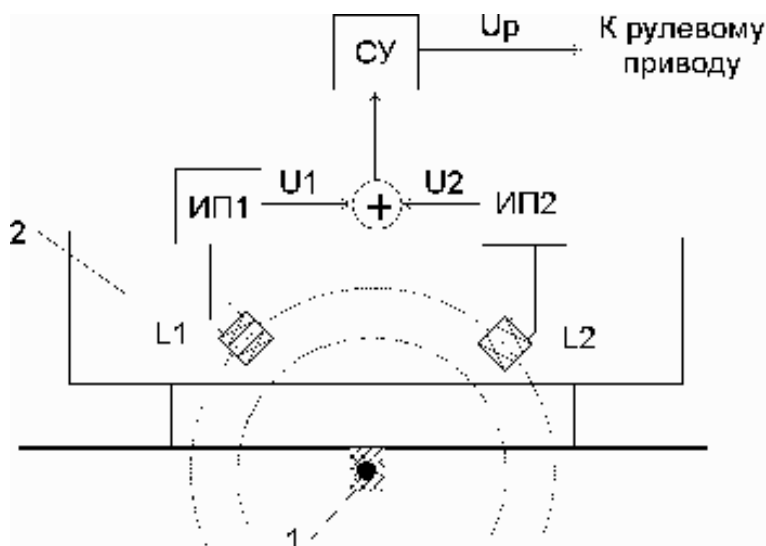


Рис. 164. Индуктивная система

Трасса маршрута в этом случае задаётся кабелем (проводом) 1, прокладываемым в полу обслуживаемого помещения на глубине до 5 см (рис. 164). Провод укладывается в канавку, которая затем заливается, например, эпоксидной смолой. Кабель образует замкнутый электрический контур, по которому от специального генератора протекает ток с частотой от 5 до 32 КГц. При этом в пространстве вокруг кабеля создаётся коаксиальное переменное магнитное поле.

На робокаре установлены датчики в виде двух катушек индуктивности L1 и L2, симметрично расположенные относительно оси робокара 2. Переменное магнитное поле кабеля наводит в этих катушках ЭДС, величина которых обратно пропорциональна квадрату удаления катушек от оси кабеля.

Схемы включения датчиков ИП1 и ИП2 преобразуют их электромагнитную ЭДС в измерительные напряжения U1 и U2, которые сопоставляются сравнивающим устройством системы

управления. При нахождении робокара над кабелем (ось симметрии проходит через кабель) сигналы обоих датчиков равны и сигнал ошибки отсутствует.

При смещении тележки вбок относительно кабеля (вследствие ошибки управления или изменения направления кабеля) изменяется соотношение измерительных сигналов левой и правой катушек и появляется сигнал рассогласования $\pm \Delta U = U_1 - U_2$, величина которого пропорциональна отклонению от маршрута, а знак определяется направлением отклонения. В зависимости от величины и знака рассогласования, система, воздействуя на привод рулевых колёс (или на дифференциальный привод ведущих колёс), изменяет направление движения таким образом, чтобы вернуть исходное положение робокара над кабелем. В результате, система управления будет постоянно отслеживать направление кабеля.

Коэффициенты усиления в каналах обратной связи зависят от ряда факторов и, в частности, от скорости движения робокара. Поэтому для обеспечения устойчивой отработки программного движения робокара целесообразно изменять коэффициенты усиления в системе сервоуправления в зависимости от изменения этих факторов, т. е. возникает необходимость в самонастройке параметров системы управления маршрутом.

При использовании индуктивного управления для передачи дополнительных сигналов системе управления робокара используются постоянные магниты, заделываемые в нужном месте пола. Такие места находятся, например, у пересечения трасс или перед станциями обслуживания. При прохождении робокара над постоянным магнитом в его катушках создаётся импульсный сигнал, который отфильтровывается схемой включения для его выделения и используется тем или иным образом в системе управления.

Такие сигналы можно использовать для команды замедления движения, команды торможения или реверса движения. Трассы робокара могут иметь разветвления и пересечения. На разветвлении подаётся предупредительный сигнал, и система управления заранее устанавливает управляемые колёса в соответствии с требуемым дальнейшим направлением движения и затем на некоторое время отключается. После прохода разветвления происходит новое включение системы и автоматический захват направляющего кабеля или полосы.

При индуктивном управлении можно пометать маршруты разной частотой питания направляющего кабеля. В результате появляется возможность создания сложной сети маршрутов с разветвлениями и пересечениями. Недостатком индуктивного метода является относительная трудоемкость разметки маршрутов и необходимость в специальных генераторах питания маршрутных кабелей.

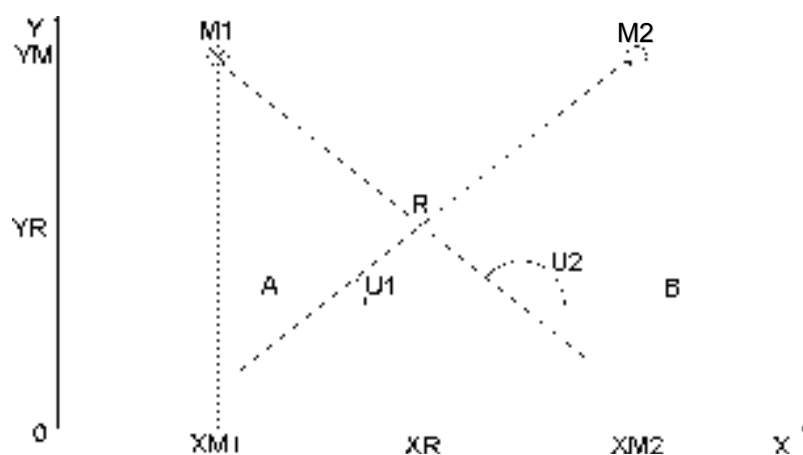


Рис. 165. Определение координат робокара

В рассмотренных системах путевого управления существует необходимость предварительной физической разметки маршрутов. Это обстоятельство

накладывает ограничение на гибкость транспортной системы. Навигационные системы управления свободны от названного недостатка и при их использовании маршруты задаются математически.

Принцип действия навигационной системы управления маршрутом робокара поясняется на рис. 165. Пусть имеется два маяка $M1(XM1, YM)$ и $M2(XM2, YM)$, координаты которых в плоскости XOY известны.

Транспортная тележка оснащена устройством пеленгации, с помощью которого можно определять углы $U1$ и $U2$, образованные направлением на соответствующий маяк и осью АВ транспортной тележки. Тогда с помощью простых геометрических построений можно определить координаты $R(XR, YR)$ центра транспортной тележки. Маршрут движения задается как функция изменения координат центра тележки во времени. Выдерживая заданную функцию, можно обеспечить движение тележки по заданному маршруту.

С целью упрощения рассмотрена плоская задача с известным направлением продольной оси тележки. На практике решается пространственная задача, в ходе решения которой определяется и ориентация транспортной тележки. Для определения ориентации могут использоваться дополнительные маяки.

Примером использования навигационной системы управления может служить автоматическая транспортная тележка, разработанная в институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. Для управления тележкой используются световые маяки, расположенные в требуемой последовательности на потолке производственного помещения. На тележке имеются датчики направления на маяк, выполненные на оптоэлектронных приборах с зарядовой связью.

Система управления тележки ориентируются во время движения на световые маяки, а при точном позиционировании на специальные метки, нанесенные на обслуживаемом оборудовании. Маршрут движения в этом случае задаётся в аналитическом виде: в виде закона изменения во времени координат положения центра робокара. В

общем случае задается и скорость движения центра транспортной тележки.

Система управления по световым меткам вычисляет фактическое положение центра тележки, сравнивает его с заданным и вырабатывает необходимое управление, обеспечивающее движение робокара в следующую точку маршрута.

В робокаре модели Turtle (черепаха) фирмы «Дженерал Электрик» используется навигационная система лазерного управления (рис. 166). Сканирующий луч лазера (угол сканирования 360°) отражается от расположенных в верхней части помещения мишеней с нанесёнными на них штриховыми кодами.

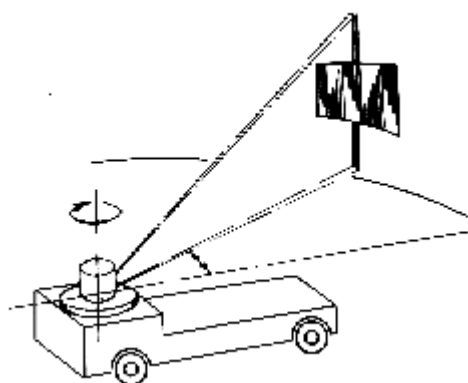


Рис. 166. Лазерное управление

Лазерный луч имеет ширину 5 мм и отклоняется от горизонтали вверх примерно на 20° . Отражённый от мишени луч воспринимается фотодатчиком, установленным на робокаре соосно с лазером. По отражённому сигналу определяется код мишени и направление на неё. Суммарная обработка информации от нескольких мишеней даёт возможность

определить фактическое положение робокара относительно мишеней. Для целей навигации используется специальный процессор.

Управление позиционированием. Управление маршрутом включает и управление позиционированием. Основная задача позиционирования – обеспечить требуемую точность положения робокара относительно обслуживаемого объекта в момент остановки. Точность позиционирования определяется боковым смещением “Y” и путевым смещением “X” относительно номинального положения. Если эти смещения будут значительны, то может нарушиться работа

системы автоматической загрузки-разгрузки. В большинстве случаев допускаемая погрешность позиционирования составляет $\pm 5\text{--}10$ мм.

Точность позиционирования в направлении "Y" определяется системой путевого управления и обеспечивается точным выдерживанием направления маршрута на этапе причаливания.

Точность в направлении "X" обеспечивается точностью остановки робокара. Для этого в районе станции обслуживания предусматривается подача системе управления робокара двух сигналов: предварительный сигнал на снижение скорости движения и сигнал на полное торможение (рис. 167).

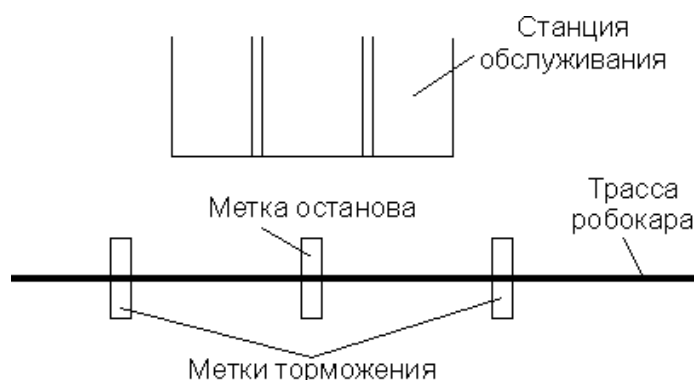


Рис. 167. Позиционирование робокара

При получении сигнала о приближении к станции обслуживания система управления снижает скорость движения робокара с крейсерской (обычно $0,5\text{--}1$ м/с) до малой. На этой малой скорости робокар приближается к станции. Когда он займёт нужное положение, определяемое моментом подачи второго сигнала, то включаются тормоза и робокар практически мгновенно останавливается. Такая система обеспечивает ошибку останова в направлении "X" $\pm 5\text{--}10$ мм.

Если указанной точности недостаточно, то применяют дополнительную механическую систему фиксации положения робокара на позиции обслуживания. Обычно для механической фиксации используются выдвижные стойки с отверстиями, которые

взаимодействуют с коническими фиксаторами, устанавливаемыми на полу (или, наоборот, стойки имеют конуса, а на полу плиты с отверстиями). При опускании стоек робокара от специального привода, они своими отверстиями садятся на конические фиксаторы, и робокар поднимаясь на этих стойках, занимает точное положение, определяемое коническими фиксаторами. В этом случае ошибка позиционирования составляет около ± 1 мм.

Для повышения точности позиционирования робокара в направлении "X" может осуществляться коррекция положения с использованием привода робокара и специального датчика положения. Известно использование для этой цели световой метки 1, устанавливаемой на станции обслуживания, и датчика коррекции 2 в виде линейки фотодиодов 3, устанавливаемой на робокаре 4 (рис. 168). При остановке робокара его привод на малой скорости корректирует положение робокара так, чтобы засвеченным оказался нужный светодиод в линейке.

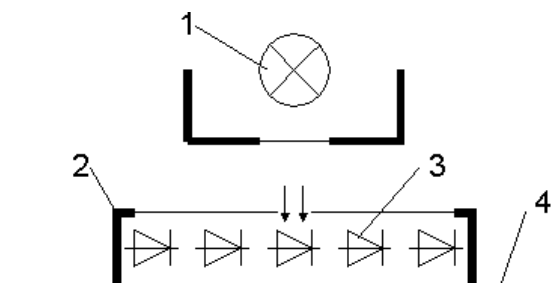


Рис. 168. Датчик коррекции

Обмен информацией. При работе автоматической транспортной тележки возникает необходимость обмена информацией между ее системой управления и АСУ ГПС. При этом кабельные соединения могут использоваться

только для рельсовых транспортных тележек. Для безрельсовых транспортных тележек необходима бескабельная передача информации.

На станции обслуживания обычно организуется обмен информацией между системой управления робокара и АСУ ГПС или оперативным персоналом. При этом могут передаваться следующие данные:

- коды точек ветвления;

- коды станций адресации;
- коды смены частоты провода, задающего маршрут;
- сигналы блокировок участков;
- сигналы о наличии или отсутствии груза на робокаре;
- другие информационные сигналы.

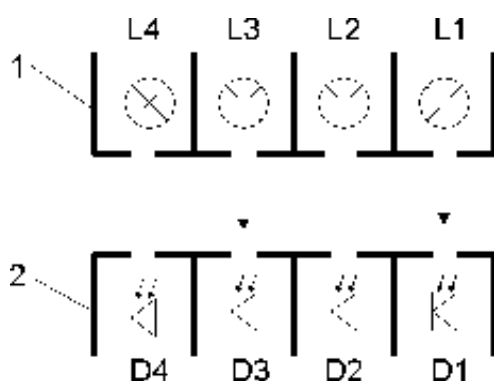


Рис. 169. Передача кода

Часть этих сигналов передаётся средствами, используемыми при задании трассы следования и рассмотренными выше (нанесение меток на трассе или установка постоянных магнитов). Для передачи кодовой информации станции обслуживания оснащаются бесконтактными фотоэлектрическими или индуктивными устройствами передачи информации.

Фотоэлектрическое устройство схематично показано на рис. 169. Оно содержит передающий блок 1 и приемный блок 2. Передающий блок устанавливается, например, на станции обслуживания, а приемный – на робокаре. Передающий блок содержит коммутируемые источники света L1 – L4 (например, лампы или светодиоды), а приемный – фотоэлементы D1 – D4 (например, фотодиоды).

Комбинируя включения источников света можно передавать на приёмные фотодиоды параллельный двоичный четырёхразрядный код (в качестве примера, на рис. 169 показана передача двоичного кода 0101). Возможны оптоэлектронные устройства последовательной передачи информации.

Для бесконтактной передачи используется также индуктивный метод. В основе такой конструкции лежит использование

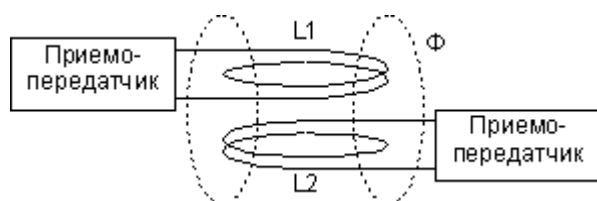


Рис. 170. Индуктивная связь

трансформатора, образованного двумя катушками L1 и L2, одна из которых устанавливается на робокаре, а другая на полу или на неподвижных конструкциях (рис. 170).

С каждой из катушек соединен приемопередатчик, что позволяет обеспечить двухстороннюю передачу информации путем модуляции магнитного потока Φ . Устройство обеспечивает передачу последовательных кодов. С помощью описанной системы можно передавать значительные объёмы информации.

Наиболее универсальным способом обмена информацией между системой управления транспортной тележки и АСУ ГПС является использование радиоканала. В том случае связь возможна в любой точке маршрута. Однако способ требует применения сложной аппаратуры и согласования с общей системой радиосвязи.

Управление загрузкой-разгрузкой. Загрузочно-разгрузочный механизм робокара (если не используется ПР) является механизмом циклического действия, осуществляющий постоянный цикл движений. Задача управления этим механизмом – это задача циклового управления, которая не представляет сложности. Осуществляться это управление может от отдельного командоаппарата или контроллера, или же от системы управления робокаром. В том случае, когда для разгрузки-загрузки используется робот, решается задача позиционного или контурного управления промышленным роботом в необходимом объёме.

Обеспечение безопасности робокара. Главной задачей системы безопасности является предотвращение наездов робокаров на неподвижные препятствия и предотвращение столкновений с другими транспортными средствами.

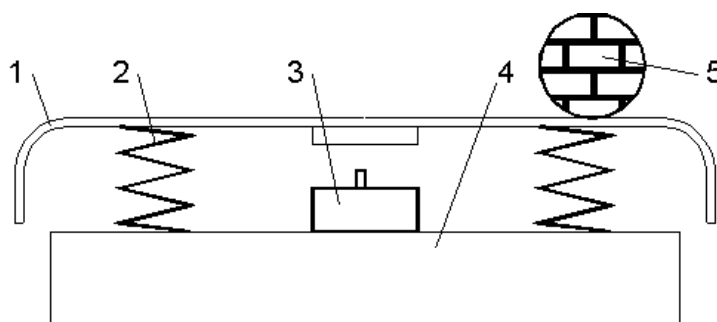


Рис. 171. Бампер безопасности

Стандартным оборудованием такой системы является использование бамперов или дуг безопасности (рис. 171). Бампер безопасности 1 устанавливается спереди и сзади робокара с возможностью перемещения относительно корпуса 4 последнего за счет упругой подвески 2. При наезде на препятствие 5 бампер 1 смещается относительно корпуса 4 робокара и нажимает на конечный выключатель 3 (обычно их несколько). Сигнал конечных выключателей воспринимается системой управления как команда экстренного торможения и робокар останавливается. При этом тормозной путь меньше полного хода бампера. Дальнейшее движение возможно либо после устранения препятствия, либо путём повторного пуска робокара оператором.

В более сложных случаях робокары оснащаются ультразвуковыми локаторами препятствий, позволяющими обнаруживать и опознавать препятствия, а система управления имеет средства для управления объездом препятствий и разъездом с другими транспортными средствами.

Обеспечение информацией о положении робокара на трассе. Для контроля положения робокара на трассе обычно используются заделанные в пол катушки индуктивности, расположенные в определённых местах маршрута. Такая катушка выполнена в виде рамки из нескольких витков. Когда робокар перемещается над катушкой, то из-за влияния металлической массы робокара индуктивность катушки возрастает, что её схемой включения преобразуется в электрический импульс, поступающий в систему контроля положения робокара. Схема включения катушки может, например, представлять собой схему генератора, работающего в режиме срыва генерации.

6.3.4.4 Устройство автоматической транспортной тележки

Отечественные робокары МП-12Т и МП-14Т предназначены для автоматизации транспортных операций в условиях гибкого производства. Они разработаны в ЦНИИ РТК и имеют два варианта исполнения: с промышленным роботом и с подъемной платформой.

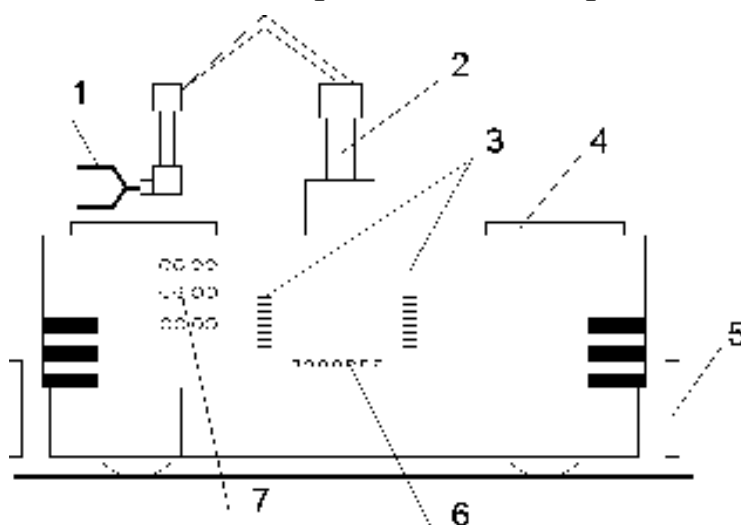


Рис. 172. Общий вид робокара с ПР

Общий вид варианта робокара с установленным промышленным роботом показан на рис. 172. На рисунке указаны следующие компоненты: 1 – схват промышленного робота, снабженный датчиками наличия тары, захвата груза и открытия

схвата; 2 – промышленный робот для загрузки-разгрузки; 3 – фотоэлектрические датчики распознавания объекта, потребности объекта, торможения и останова; 4 – грузонесущие ячейки с датчиками наличия тары; 5 – бампер безопасности; 6 – датчик коррекции положения, 7 – оптоэлектронные устройства связи.

Для промышленного робота реализуется плоское реверсивное движение по криволинейной траектории и разворот вокруг вертикальной оси симметрии. Тележка четырёхколёсная. Ведущие колёса расположены по поперечной оси симметрии. Управление направлением движения осуществляется за счёт дифференциального привода ведущих колёс. Радиус поворота тележки 1,5 м.

Пример компоновки робокара в варианте с подъемной платформой дан на рис. 173, где 1 – 16-разрядные фотодатчики слежения за трассой; 2 – опорное флюгерное колесо; 3 – электродвигатель подъема платформы; 4 – цепь привода платформы; 5 – ведущее колесо; 6 – электромагнитная муфта; 7 – устройство для подключения к сети подзарядки аккумуляторных батарей; 8 – электродвигатель привода движения; 9 – счетчик пройденного пути, приводимый от пятого мерного колеса; 10 – аккумуляторная батарея; 11 – преобразователь напряжения для питания ЭВМ.

Грузоподъёмность робокара составляет одну тонну, крейсерская скорость движения – 1 м/с. Ведущие колёса 5 расположены посередине

робокара и
приводятся во
вращение

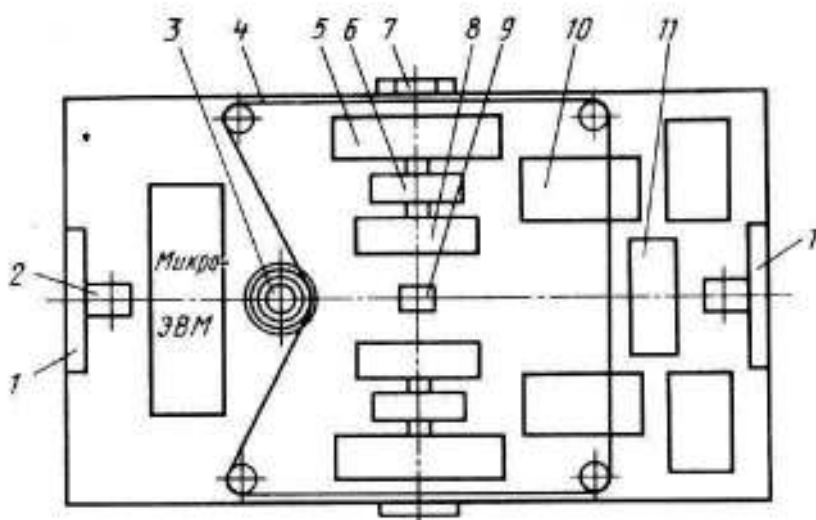


Рис. 173. Робокар с подъемной платформой

электродвигателями 8 через электромагнитные муфты 6. Опорные самоустанавливающиеся колёса 2 расположены по продольной оси тележки спереди и сзади. Такое расположение позволяет получить малый радиус поворота и обеспечить хорошую маневренность робота.

Механизм подъёма платформы выполнен электромеханическим с замкнутой цепью 4. Для привода механизма используется электродвигатель 3. Весь привод располагается вертикально.

В роботах МП использована фотоэлектрическая система управления маршрутом. Трасса обозначается светоотражающей полосой шириной 10–15 мм. Электронно-оптический датчик 1 курса работает в инфракрасном диапазоне. Позиции обслуживания, рабочие места и перекрестки размечаются системой светоотражающих знаков на полу. В комплексе используется три типа знаков: номер позиции, место останова и знак коррекции положения останова.

Система управления роботами МП выполнена на базе микроЭВМ «Электроника 60». Функциональная схема системы управления показана на рис. 174. К микроЭВМ через интерфейсный модуль подключаются датчики информации и управляемые приводы. При наличии промышленного робота его датчики и исполнительные приводы подключаются к микроЭВМ через свой интерфейсный модуль.

Программное обеспечение микроЭВМ позволяет решать все задачи управления роботом. Программы хранятся в постоянной памяти. Обмен информацией между бортовой ЭВМ и ЭВМ АСУ ГПС осуществляется по электронно-оптическим каналам модуля обмена информацией, один комплект которого размещается на роботе, а другие на рабочих местах.

Работает система управления следующим образом. При наличии запроса на заготовку с рабочего места (датчик запроса с объекта) этот запрос поступает на склад. На складе запрос

идентифицируется и на позицию выдачи склада выдаётся тара с требуемыми заготовками. Тара имеет кодовый номер. Система управления робокара определяет наличие тары (по сигналу датчика схвата) на позиции выдачи склада, и робокар забирает эту тару. Одновременно робокар может принять до 10 тарных ящиков.

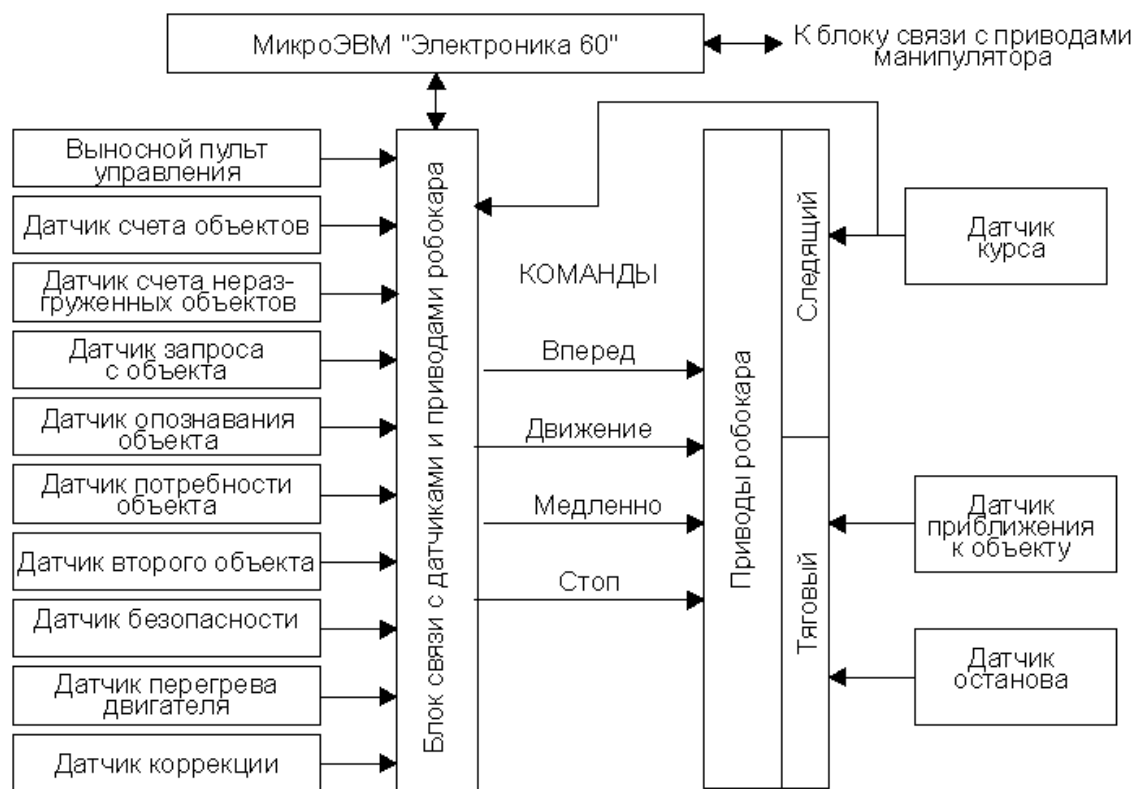


Рис. 174. Система управления робокаром

После установки тары на грузовую платформу робокара бортовая ЭВМ считывает код тары и хранит её в памяти. Для считывания кода на грузовой платформе имеется 10 считывающих ячеек. Код шестнадцатиразрядный. Считывается код электроконтактным устройством. На таре код задается с помощью поворотных упоров, которые устанавливаются оператором.

Загрузившись, робокар начинает движение по трассе. В процессе движения мимо рабочих станций считываются их кодовые номера. Когда номер рабочей позиции и тары совпадает, робокар останавливается и корректирует свое положение по электронно-

оптическому датчику останова. Датчик коррекции включает 10 фотоприёмников, установленных на тележке с шагом 20 мм и источник света, смонтированный на рабочем месте.

После коррекции положения робокара происходит разгрузка доставленной тары. Если на рабочем месте есть тара с готовыми изделиями, то она автоматически загружается на свободную платформу. Тару с готовыми изделиями робокар доставляет на склад и разгружает её, если приёмная позиция склада свободна.

Для питания электрических устройств робокара используются аккумуляторные батареи. Имеется преобразователь напряжений для получения различных напряжений. Подзарядка аккумуляторов осуществляется без съёма их с робокара. Для этого служат устройства, с помощью которых аккумуляторы подключаются к зарядному устройству.

6.3.4.5 Примеры использования робокаров

Робокары находят применение для автоматизации транспортных операций в различных видах производств. В последнее время применяются они и в шинном производстве. При автоматизации транспорта в шинном производстве автоматическая роботизированная тележка (рис. 175, 1 – бампер безопасности, 2 – подвижная

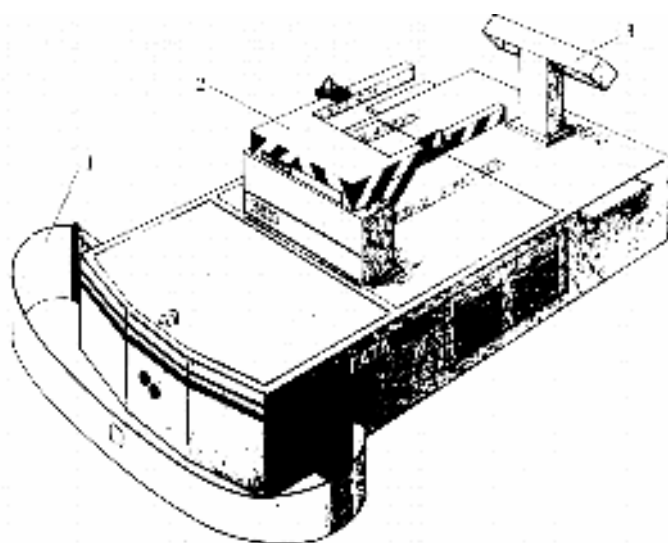


Рис. 175. Робокар

грузонесущая платформа, 3 – пульт управления) движется в цехе по заданному маршруту над углублённым в пол проводом, благодаря восприятию датчиком электромагнитного поля провода. Воспринимаемым узлом тележки является приёмная антенна, состоящая из двух частей.

Отклонение от точного маршрута ведёт к нарушению балансировки в уровне напряжения и формы волны, которая контролируется двумя полуантеннами. Это напряжение ошибки преобразуется в цифровую форму и обрабатывается узлом управления. В результате выдаётся команда для устранения погрешности приводе узла рулевого управления тележки.

Для управления тележкой по замкнутому маршруту имеется многочастотная система рулевого управления. Узел управления производит выбор и контроль заданного маршрута.

Информация о местоположении тележки поступает посредством особых меток, расположенных по маршруту, которые считываются программой системы управления роботизированной тележки. Метки могут быть активного и пассивного типа. В первом случае они представляют собой катушки, питаемые постоянной частотой и взаимодействующие с приемной антенной, во втором случае они представляют собой металлические пластины, установленные на полу.

Тележка имеет два управляемых параметра режима работы на маршруте – ускорение и скорость. Обе функции программируются в зависимости от загрузки тележки и её маршрута (прямолинейного или сложной конфигурации).

Тележка имеет оптические узлы, взаимодействующие с подобными узлами на полу или на неподвижных конструкциях и служащие для преобразования инфракрасных лучей в электрические сигналы и наоборот. Этот тип коммутации выполняется без физического контакта между тележкой и управляющим компьютером. По пути следования тележки по маршруту происходит обмен информацией между системой АСУ и тележкой. В систему управления тележкой поступает информация о задании и его параметры, а в АСУ – информация о выполняемой операции.

Для контроля движения тележки используются индуктивные катушки (рамки), заделанные в пол. Тележка реагирует на индуктивную катушку в момент прохождения над ней. Обратная связь даёт возможность устанавливать наличие тележек в том или ином месте в цехе и управлять их движением через индуктивные катушки, которые выполняют функции светофоров и служат для остановки тележек.

Тележка снабжена буфером. При лёгком его соприкосновении к препятствию, происходит останов тележки.

Тележка имеет одно приводное колесо, выполняющее одновременно функцию рулевого, и два задних колеса. Такие тележки целесообразно использовать в гибких производственных системах.

Управление осуществляется бортовым микропроцессором. Питание электропривода и электрических устройств обеспечивается от аккумуляторных батарей. Для автоматизации загрузки-разгрузки на такие тележки устанавливают простые или двойные вилочные захваты, рольганги, подъёмные столы и другие устройства.

Тележки обеспечивают отбор и укладку грузов в любой транспортной системе. Благодаря индивидуальному приводу каждого колеса тележка может передвигаться вперёд и назад, поворачиваться с минимальными радиусами поворота и вращаться вокруг собственной оси.

На предприятии ИГА фирмы «Мори Сейки» с помощью двух многоярусных автоматизированных складов и транспортной системы на основе робокаров обслуживаются три цеха механической обработки, а также ГПС, термоконстантный механический цех, цеха сборки, окрашивания и наладки. Имеется также отдельный корпус, в котором расположены три шлифовальных участка.

Склады и робокары обслуживают все цеха и корпуса предприятия. В итоге, от первой механической операции до окончательной отладки изделий вмешательство операторов при транспортировании между отдельными операциями практически

исключено. Схема автоматизированной транспортно-накопительной системы предприятия показана на рис. 176, где 1 – многоярусный автоматизированный склад; 2 – промежуточные накопители; 3 – робокар; 4 – сборочный участок; 5 – подготовительный участок; 6 – обрабатывающий центр с автоматической загрузкой; 7 – устройство автоматической смены спутников; 8 – станция загрузки-разгрузки спутников; 9 – обрабатывающий центр с ручной загрузкой; 10 – станция загрузки-выгрузки.

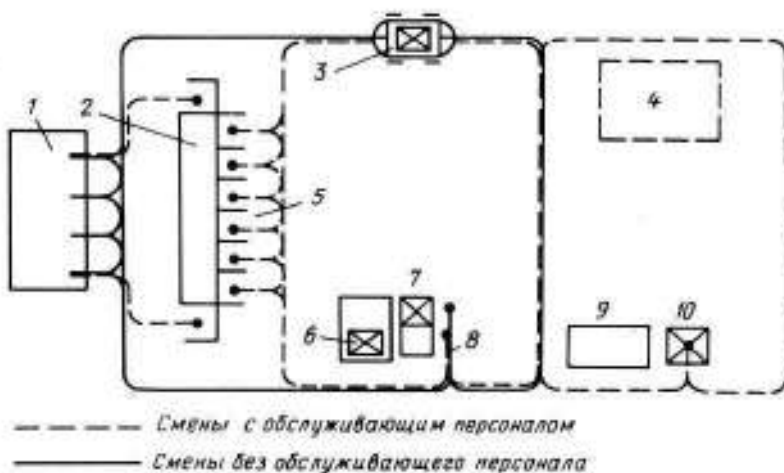


Рис. 176. АТНС с использованием робокаров

Производственные участки занимают площадь 46200 м² и обслуживаются 16 робокарами. Совокупная длина их маршрутов составляет 4,5 км, число станций обслуживания 195. Кроме того, дополнительно предусмотрено 53 зоны ожидания. Всего в транспортно-складской системе используется не менее 12800 спутников грузоподъемностью 30 кг и 7000 спутников грузоподъемностью 1–3 т. Восемь из 16 робокаров имеют грузоподъемность 1 т., четыре – 2 т. и четыре – 3 т. Робокары максимальной грузоподъемности служат для перевозки станин станков.

Робокары изготовлены по лицензии швейцарской фирмы «Шиндлер дигитрон». Робокары оснащены подъемными и толкающими устройствами загрузки-разгрузки. На складе и на подготовительном участке они загружаются автоматически, в ГПС робокары обслуживают приёмно-передающие столы станков также автоматически.

В дневную смену при наличии обслуживающего персонала робокары перемещаются между подготовительным участком, модулями ГПС, сборочным участком и цехом специальных станков. В ГПС крупные станки загружаются с робокара вручную. Некоторые спутники перевозятся из промежуточного накопителя в многоярусный склад.

В смену без обслуживающего персонала робокары перемещаются только между многоярусным складом и станками ГПС, автоматически производя загрузочно-разгрузочные операции.

Управление осуществляется от двух ЭВМ, которые обеспечивают управление материально-производственными запасами, доставкой и складированием заготовок, планированием обработки, автоматическим транспортированием и отправлением готовых деталей.

7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

7.1 Понятия, назначение и классификация манипуляционных систем

Манипуляционные системы предназначены для перемещения и изменения ориентации в пространстве различных предметов труда. Автоматизированные манипуляционные системы присутствуют в большинстве автоматизированных технологических систем.

Автоматизированные манипуляционные системы могут быть универсальными и специализированными. Наибольшей универсальностью обладают манипуляционные системы промышленных роботов. В качестве примера специализированных манипуляционных систем можно назвать автооператоры, механические руки, различные питатели и др.

Для общности изложения вопроса в дальнейшем будем рассматривать универсальные манипуляционные системы на примере манипуляционной системы промышленного робота. Полученные при этом расчетные соотношения и зависимости могут быть распространены в упрощенном виде на другие типы манипуляционных систем.

В качестве предметов манипулирования могут выступать:

- в машиностроении – заготовки, детали, инструменты, технологическая оснастка, емкости с расплавленным металлом и т.д.
- в атомной промышленности – стержни радиоактивного материала, крышки люков, приборы контроля и т.д.
- в исследовательских (информационных) роботах – теле- и видеокамеры, буровые инструменты, космические модули и т.д.

- в роботах для экстремальных условий – специальные устройства для обработки местности, навесные орудия обработки земли, поверхностей зданий и др.

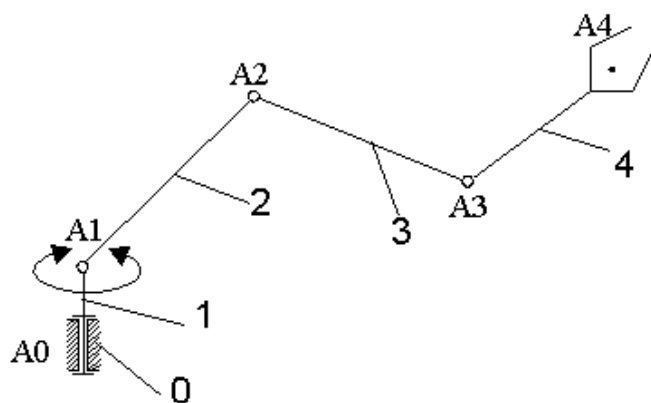


Рис. 177. Кинематическая схема манипулятора

В роботе для выполнения манипуляционных (двигательных) функций используется манипулятор, представляющий собой ряд кинематических звеньев, соединенных друг с другом кинематическими парами.

Пример кинематической схемы манипулятора приведен на рис. 177, где обозначены: 0...4 – кинематические звенья манипулятора, $A_0...A_3$ – кинематические пары, A_4 – характерная точка (центр) схвата. Одно из звеньев манипулятора (на рис. 177 звено 0) является стойкой, а другие могут совершать управляемые движения под силовым воздействием со стороны приводов.

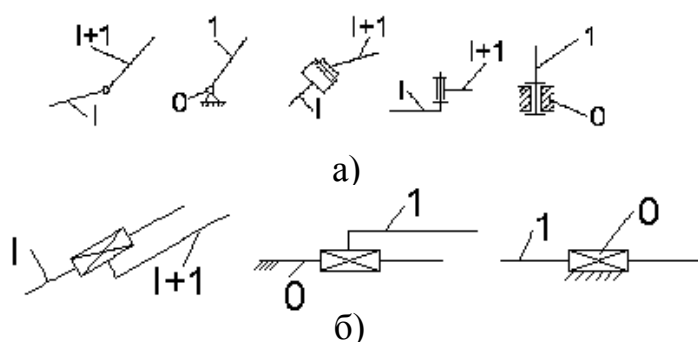


Рис. 178. Вращательные и поступательные кинематические пары манипуляторов

В манипуляторах роботов обычно используются одноподвижные вращательные (рис. 178, а) или поступательные (рис. 178, б) кинематические пары 5-го класса.

Распространенность в манипуляторах роботов одноподвижных кинематических пар 5-го класса объясняется тем, что такие пары обеспечивают относительное движение образующих их кинематических звеньев относительно друг друга по одной

координате, а, следовательно, для перемещения одного звена относительно другого требуется один привод.

Силовое воздействие приводов на звенья манипулятора осуществляется в соответствии с управляющими сигналами, поступающими от системы управления робота, которые в свою очередь формируются в соответствии с заданием на движение схвата, учетом состояния робота и окружающей технологической среды. Таким образом, при подаче сигналов управления на приводы робота, звенья манипулятора и его схват будут совершать определенные перемещения в пространстве.

Для роботов наиболее характерны два типа заданий на перемещение схвата.

1. Перемещение от одной точки позиционирования к другой – позиционное управление. В этом случае задаются координаты начальной, промежуточных и конечной точек позиционирования. Траектория движения схвата и скорость его движения между точками не регламентируется. Число точек позиционирования может быть достаточно большим.

Существенным моментом при позиционном управлении является то, что в каждой точке позиционирования схват должен сделать остановку и, следовательно, скорость схвата в этих точках должна быть равна нулю. Значит, каждую пару соседних точек при планировании движения схвата в этом случае можно рассматривать как начальную и конечную.

Примерами позиционного управления могут быть:

- движение от места хранения заготовки (детали) к приспособлению станка;
- перенос инструмента (например, сверла) от одной точки разметки до другой;
- перемещение сварочных клещей при точечной сварке кузовов автомобилей.

На рис. 179 показаны примерные графики перемещений (1), скоростей (2) и ускорений (3) схвата по одной из координат от одной точки позиционирования к другой.

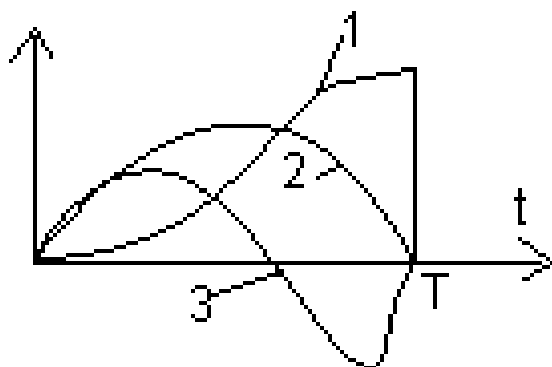


Рис. 179. График перемещений

2. Перемещение схвата по заданной в пространстве и времени траектории – контурное управление. В этом случае задается закон движения схвата по координатам x , y и z в виде $x = x(t)$; $y = y(t)$; $z = z(t)$ и, кроме того, – ориентация схвата в каждый момент времени.

Ориентацию схвата в пространстве можно задавать с использованием углов Эйлера: $\psi = \psi(t)$; $\theta = \theta(t)$; $\varphi = \varphi(t)$, где ψ , θ и φ – соответственно, углы прецессии, нутации и собственного вращения или с помощью углов между осями координат инерциальной системы координат и осями координат схвата.

Таким образом, при контурном управлении движение схвата задается в общем случае по шести координатам; в некоторых случаях можно обойтись тремя координатами, определяющими положение характерной точки схвата в пространстве, с последующим обеспечением ориентации схвата в конечной точке. Примеры контурного управления:

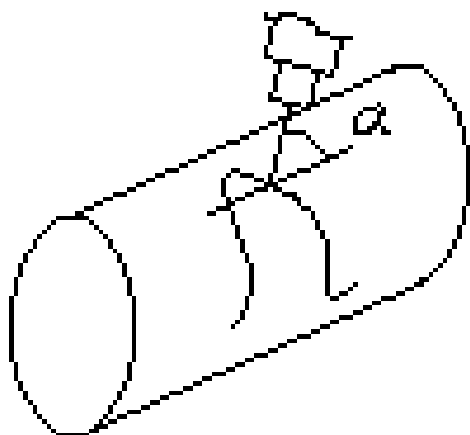


Рис. 180. Пространственное контурное движение

- сварка деталей при пространственном расположении шва;
- контурная резка металла из листового проката;
- раскрой материала по выкройкам и др.

На рис. 180 показан пример выполнения сварочного шва на цилиндрической поверхности с обеспечением постоянного угла α наклона электрода к поверхности и с учетом расхода электрода.

На рис. 181 рассматривается плоское движение схвата с его постоянной ориентацией.

На начальной стадии решение задач обеспечения позиционного и контурного управления имеет определенные различия между собой.

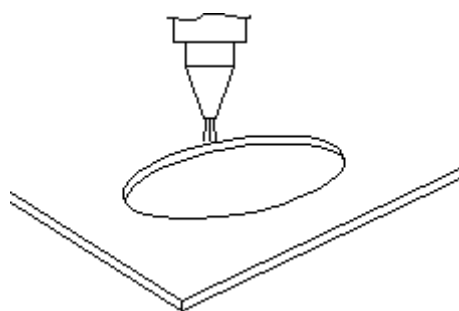


Рис. 181. Плоское контурное движение схвата

Существуют, так называемые, прямая и обратная задачи кинематики манипуляторов.

В завершающей части определение управляющих воздействий сводится к решению уравнений динамики манипулятора и нахождению обобщенных силовых воздействий приводов на звенья манипулятора как функций времени.

При рассмотрении кинематики манипуляторов различают переносные и ориентирующие степени подвижности звеньев.

Переносные (региональные) степени подвижности манипулятора. Переносными (региональными) степенями подвижности называют такие, с помощью которых обеспечивается пространственное перемещение схвата. Для обеспечения пространственного движения схвата в общем случае достаточно трех степеней подвижности, расположенных определенным образом относительно друг друга. Основными минимальными условиями обеспечения пространственного движения в манипуляторе,

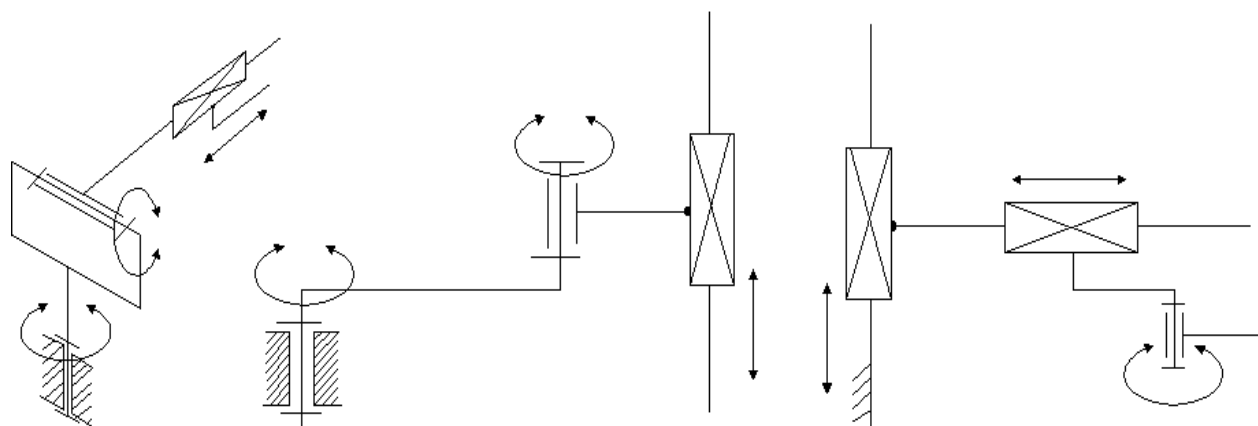


Рис. 182. Кинематика пространственных движений схвата

содержащем пары 5-го класса, являются:

1) наличие двух вращательных пар с непараллельными осями (обычно оси располагаются перпендикулярно друг другу) и третьей вращательной или поступательной пары, обеспечивающей изменение радиуса сферы (рис. 182, а);

2) наличие двух вращательных пар с параллельными осями и третьей поступательной пары, направляющая которой неперпендикулярна осям вращательных пар (обычно ее принимают параллельной одной из осей вращательных пар (рис. 182, б)), или третьей вращательной пары, ось вращения которой неперпендикулярна предыдущим кинематическим парам;

3) наличие двух поступательных пар с непараллельными направляющими и третьей вращательной пары, ось которой неперпендикулярна плоскости, образованной направляющими

поступательных пар (рис. 182, в), или третьей поступательной пары, направляющая которой непараллельна названной плоскости (обычно направляющие принимают перпендикулярными друг другу, а ось вращательной пары параллельной плоскости).

Двигательные возможности манипулятора определяются в значительной степени последовательностью применения типов кинематических пар (вращательных и поступательных) и взаимным расположением осей и направляющих этих пар в манипуляторе. Обозначив буквами В и П соответственно вращательную и поступательную кинематические пары, получим восемь возможных сочетаний расположения типов кинематических пар, обеспечивающих три первые переносные степени подвижности манипулятора: ВВВ, ПВВ, ВПВ, ВВП, ППВ, ПВП, ВПП, ППП.

Некоторые основные кинематические схемы манипуляционных систем, обеспечивающие переносные движения схвата, и их условные обозначения сведены в табл. 1.

Схемы, обозначенные в табл. 1 буквами А, В, С, D, Е и F, являются наиболее распространенными и по ним выполнено большинство промышленных роботов.

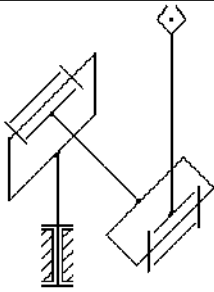
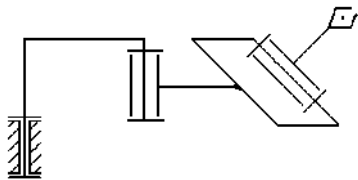
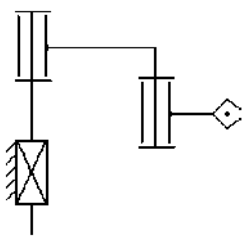
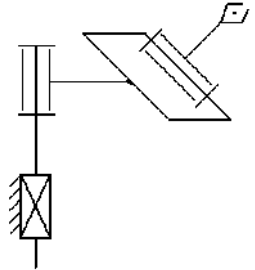
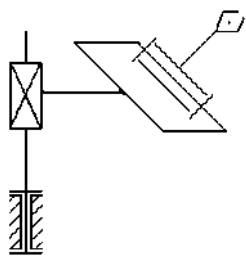
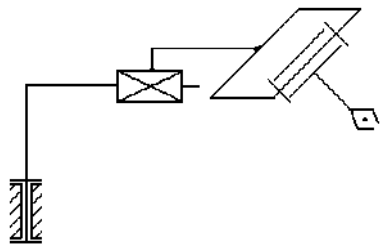
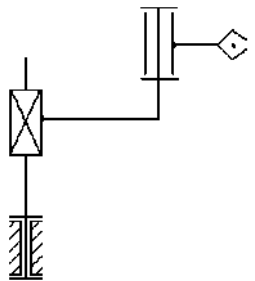
Переносные степени подвижности удобно классифицировать так же по системам координат, которые обеспечивает та или иная комбинация кинематических пар манипулятора. Различают четыре основных системы координат манипуляторов (рис. 183): 1) цилиндрическая (рис. 183, а) с координатами φ , ρ , h ; 2) сферическая (рис. 183, б) с координатами φ , α , ρ ; 3) прямоугольная (рис. 183, в) с координатами x , y , z и 4) ангулярная (угловая) (рис. 183, г) с координатами φ_1 , φ_2 , φ_3 .

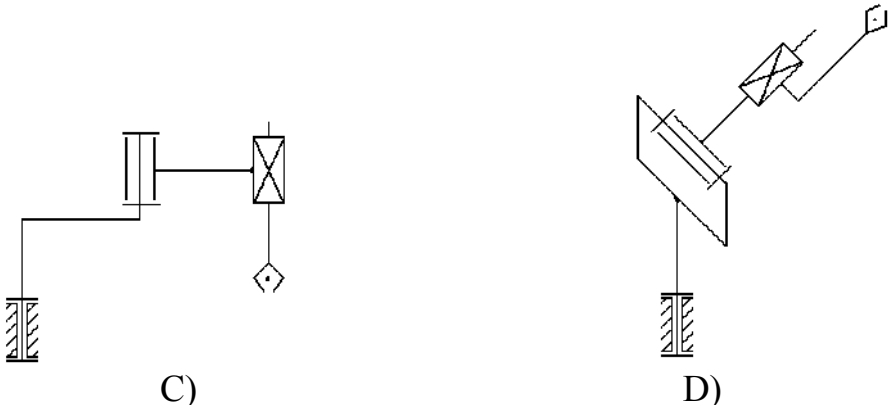
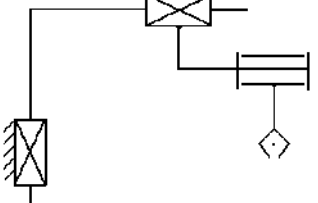
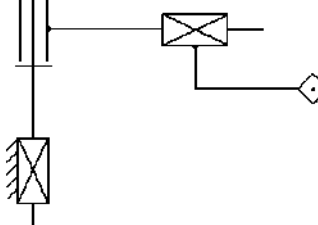
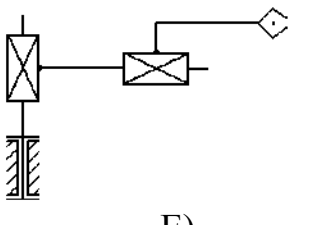
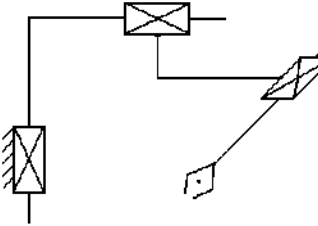
Ориентирующие (локальные) степени подвижности манипулятора. Если в каждой точке рабочего пространства

манипулятора его схват должен иметь вполне определенную ориентацию, то манипулятор необходимо снабдить как минимум тремя ориентирующими степенями подвижности. Хотя в промышленных роботах обычно обходятся одной-двумя ориентирующими степенями подвижности.

Таблица 1

Основные кинематические схемы переносных степеней подвижности манипуляторов

№	Последовательность применения типов кинематических пар	Кинематические схемы манипуляторов	
1	2	3	
1	ВВВ	 A)	
2	ПВВ	 B)	
3	ВПВ	 	

1	2	3
4	ВВП	 <p>C)</p> <p>D)</p>
5	ППВ	
6	ПВП	
7	ВПП	 <p>E)</p>
8	ППП	 <p>F)</p>

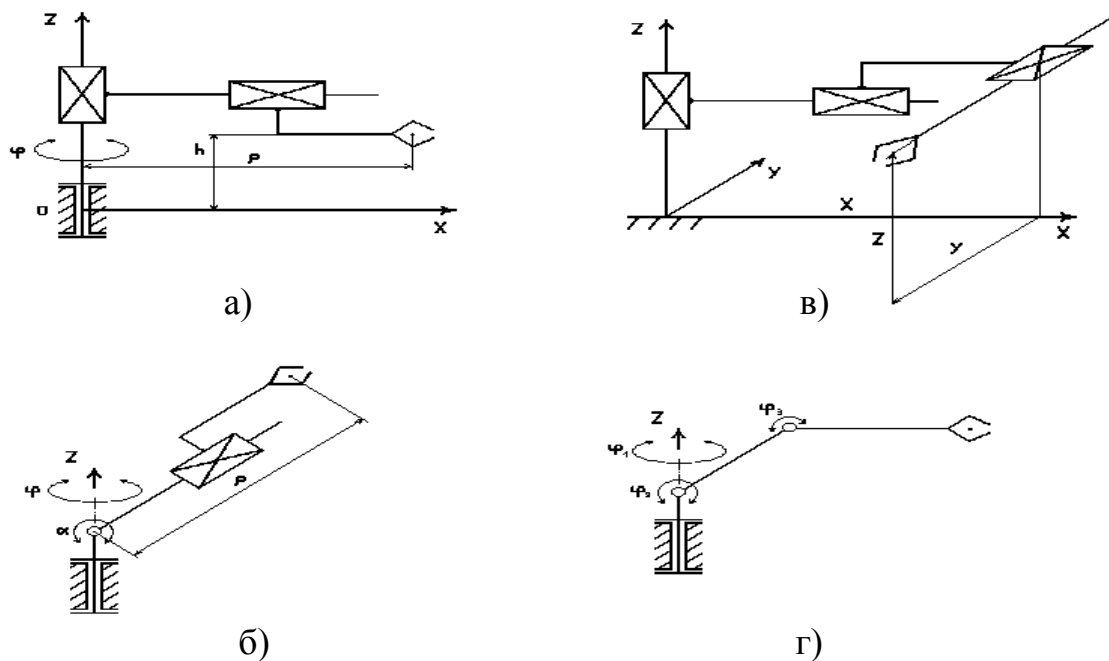


Рис. 183. Системы координат манипуляторов

Основные кинематические схемы манипуляционных систем, обеспечивающие ориентирующие движения схвата, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Кинематические схемы ориентирующих степеней подвижности

№	Выполняемые функции	Схемы ориентирующих степеней подвижности	Степень применимости, %
1	Ротация схвата		37
2	Ротация схвата с дополнительным пространственным движением		25
3	Обеспечение полной пространственной ориентации схвата		10
4	Без ориентирующих степеней подвижности	Оборудование и манипулятор выставляются так, чтобы рука робота оказывалась в требуемом положении относительно оборудования	28

7.2 Основы кинематики манипуляционных систем

Приведем аналитические зависимости, связывающие перемещения звеньев манипулятора относительно друг друга при работе приводов с движением схвата в пространстве. Положение и ориентацию схвата в пространстве и времени задают законами движения центра схвата и углового движения последнего n -го звена, на котором закреплен схват, а именно:

$$\begin{aligned}x_{on} &= x(t), \quad y_{on} = y(t), \quad z_{on} = z(t); \\ \dot{x}_o z_n &= f_1(t); \quad \dot{y}_o z_n = f_2(t); \quad \dot{x}_o y_n = f_3(t).\end{aligned}$$

Положение i -го звена относительно $(i-1)$ -го определяется с помощью обобщенной координаты q_i .

Необходимо иметь математический аппарат, позволяющий устанавливать для манипулятора любой конфигурации математическую модель его кинематики, которую в общем виде можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}x_{on} &= x(q_1, q_2, \dots, q_n; t), \\ y_{on} &= y(q_1, q_2, \dots, q_n; t), \\ z_{on} &= z(q_1, q_2, \dots, q_n; t), \\ \dot{x}_o z_n &= f_1(q_1, q_2, \dots, q_n; t), \\ \dot{y}_o z_n &= f_2(q_1, q_2, \dots, q_n; t), \\ \dot{x}_o y_n &= f_3(q_1, q_2, \dots, q_n; t),\end{aligned}$$

или в более краткой форме записи

$$R = R(Q; t),$$

где R и Q – векторы абсолютных и обобщенных координат манипулятора.

Задачи подобного рода сводятся к преобразованию координат. В общем случае для того, чтобы зафиксировать одну систему координат относительно другой необходимо шесть координат: смещение по трем осям и поворот вокруг трех осей.

В связи с тем, что в манипуляторах роботов используются только одноподвижные вращательные и поступательные кинематические пары, для определения положения систем координат, связанных со звеньями манипулятора, достаточно четырех специальных координат. При этом сами системы координат должны быть связаны со звеньями манипулятора вполне определенным образом.

Специальные системы координат манипуляторов были предложены американскими учеными Д. Денавитом и Р. Хартенбергом в 1955–1960 гг. Первоначально они предназначались для задания осей кинематических пар пространственных рычажных механизмов с низшими парами (рис. 184).

В последние десятилетия предложенная координатная система была применена к описанию кинематики манипуляторов. Это связано с тем, что манипуляторы с одноподвижными вращательными и поступательными парами обладают рядом регулярных особенностей, хорошо согласующихся со свойствами координатной системы Денавита–Хартенберга.

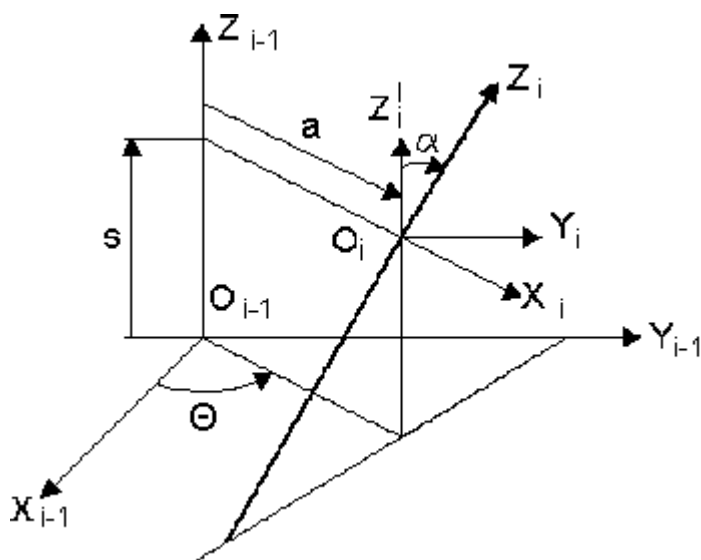


Рис. 184. Система координат Денавита–Хартенберга

Сформулируем

ряд правил
расположения осей и
начал координат
специальной системы
координат
относительно
кинематических пар и
звеньев манипулятора.
Пронумеруем
кинематические звенья
в последовательности

от неподвижного звена к наиболее удаленному, на котором закреплен

схват, присвоив им номера соответственно от 0 до n (рис. 185), где n – число подвижных звеньев манипулятора.



Рис. 185. Обозначения звеньев и пар

Обозначим кинематические пары символом A_i , нижний индекс которого равен меньшему из номеров звеньев, образующих i -ю кинематическую пару (рис. 185). Например, кинематическая пара A_1 соединяет кинематические звенья 1 и 2, а кинематическая пара A_3 – кинематические звенья 3 и 4 и т.д. Обозначение A_n присваивается характерной точке (центру) схвата.

Введем понятие оси z_i i -й кинематической пары:

– осью z_i i -й вращательной кинематической пары, соединяющей i -е звено с $(i+1)$ -м является, ось шарнира кинематической пары A_i . Эту ось координат будем считать принадлежащей i -му звену и жестко с ним соединенной. Именно вокруг этой оси вращается $(i+1)$ -е звено относительно i -го;

– осью z_i i -й поступательной пары является какая-либо из прямых, параллельная направляющей данной поступательной пары.

По этой направляющей перемещается $(i+1)$ -е звено относительно i -го.

Если ось z_i поступательной пары не параллельна оси z_{i-1} , то ее

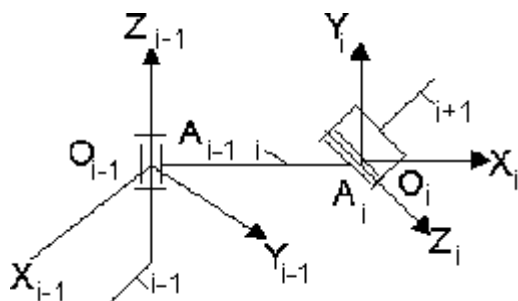


Рис. 186. Перекрещивающиеся оси координат z_{i-1} и z_i

рекомендуется направлять так, чтобы она пересекалась с этой осью.

За положительное направление оси z_i можно взять любое, в частности, направления: снизу вверх,

слева направо, по направлению к наблюдателю или близкие к ним направления.

Начало системы координат, связанной с i -м звеном, и направление оси x_i выбирается по следующим правилам.

Оси z_i и z_{i-1} перекрещиваются: начало координат O_i располагается в точке пересечения линии кратчайшего расстояния между осями z_{i-1} и z_i с осью z_i (рис. 186). В этом случае ось x_i

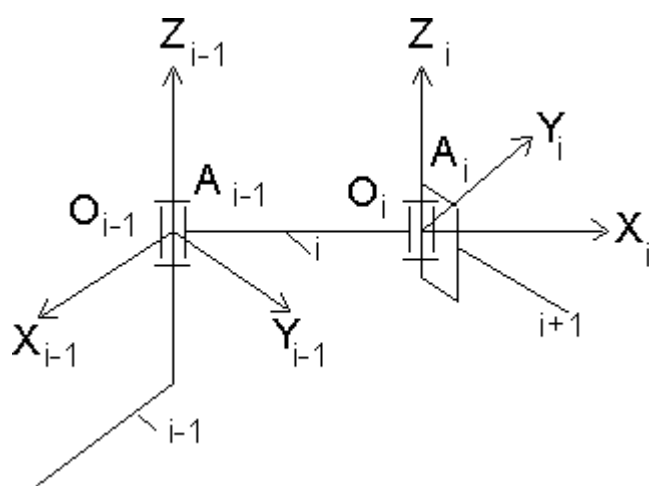


Рис. 187. Параллельные оси координат z_{i-1} и z_i

направляется по линии кратчайшего расстояния в сторону от оси z_{i-1} к оси z_i .

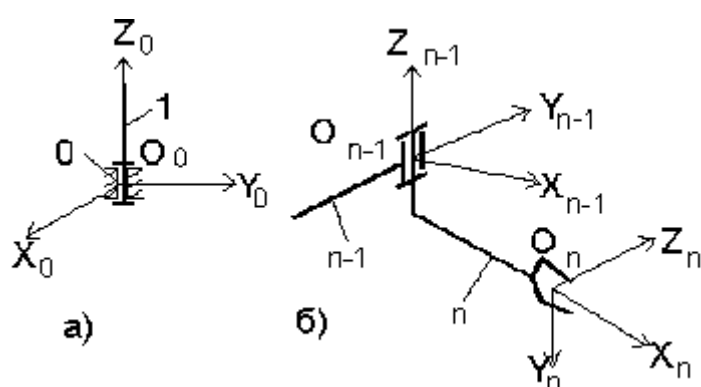
Оси z_i и z_{i-1} параллельны: за начало координат O_i может быть принята любая удобная по каким-либо соображениям точка оси координат z_i (рис. 187). Ось x_i направляется так, чтобы она лежала в плоскости, образуемой осями z_{i-1} и z_i (случай рассматривается как частный по отношению к предыдущему).

Оси z_i и z_{i-1} совпадают: начало O_i координат может быть назначено в любой удобной по каким-либо дополнительным условиям точке оси z_i , а ось x_i направлена перпендикулярно оси z_i в произвольном направлении.

Оси z_i и z_{i-1} пересекаются: за начало O_i координат принимается точка их пересечения, а ось x_i направляется по общему перпендикуляру к осям z_i и z_{i-1} .

Эти правила не действуют в полной мере при выборе системы координат, связанной со стойкой (звено 0), т. к. отсутствует $(i-1)$ -я кинематическая пара, и системы координат, связанной с последним n -м звеном, на котором закрепляется схват, т. к. это последнее звено не содержит кинематической пары, предназначенной для соединения с последующим звеном.

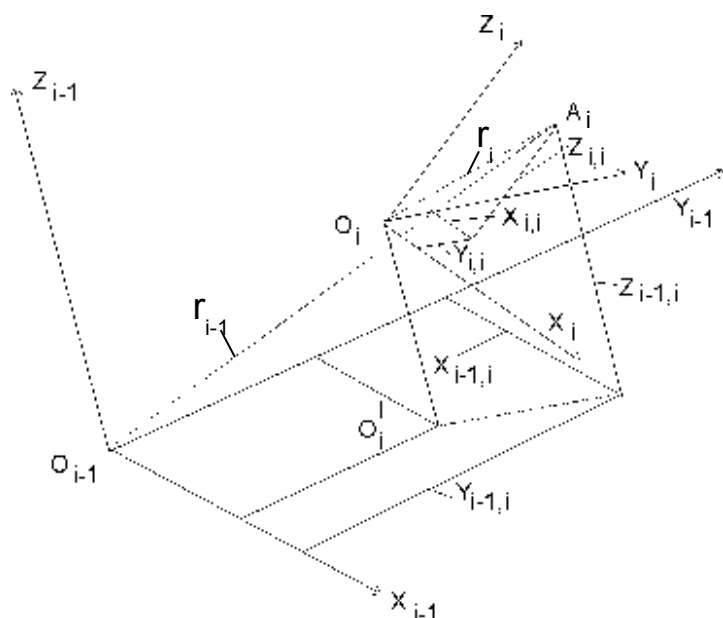
Начало O_0 системы координат, связанной со стойкой (звеном 0), может быть расположено в любой точке оси z_0 , а направление оси x_0 принимается произвольно по дополнительным условиям (рис. 188, а).



Начало O_n системы координат, связанной с последним n -м звеном манипулятора, на котором закреплен схват, располагается в точке, принимаемой за центр схвата, а ось x_n

направляется перпендикулярно оси z_{n-1} (рис.188, б). Направление оси z_n может быть назначено произвольно, например, по оси захватываемой детали или технологического инструмента или перпендикулярно ей.

Во всех случаях ось $O_i Y_i$ направляется так, чтобы система координат была правой.



При составлении математических моделей манипуляторов наибольшее распространение получило матричное исчисление. Долгое время для этой цели использовалось

Рис. 189. Преобразование координат

сочетание матриц поворота 3×3 , элементами которых были направляющие косинусы углов между осями i -й и $(i-1)$ -й систем координат, и матриц переноса размером 3×1 , элементами которых служили координаты начала i -й системы координат в $(i-1)$ -й системе.

Наличие двух матриц разной размерности и разного назначения приводило к необходимости использования операций умножения и сложения матриц, к усложнению алгоритма вычислений, а, следовательно, к увеличению машинного времени, что сказывалось на отработке управляющих сигналов в реальном времени и на управляемости робота.

В последнее время используются комплексные матрицы перехода размером 4×4 , позволяющие осуществлять поворот и перенос (смещение) одних координат по отношению к другим. В этом случае для описания положения точки в пространстве применяются однородные координаты, в которых к обычным трем координатам

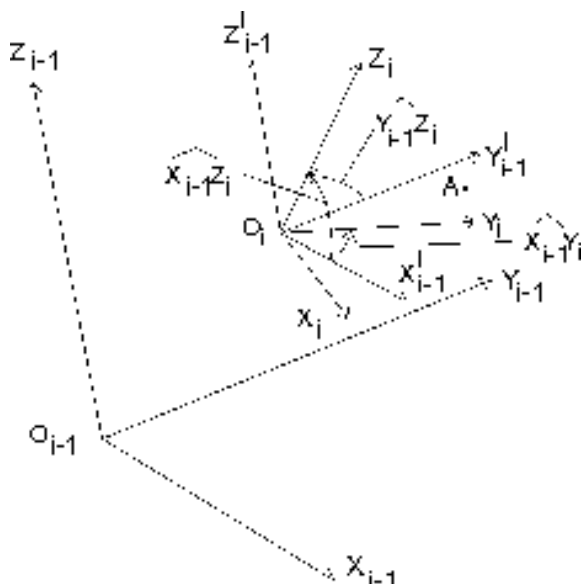


Рис. 190. Ориентация координат

добавляется четвертая, равная 1. Тогда координаты точки будут представлены в виде: $x_i, y_i, z_i, 1$.

Если известны однородные координаты $x_{i,i}, y_{i,i}, z_{i,i}, 1$ вектора r_i некоторой точки A_i в “старой” i -й системе координат, то однородные

координаты $x_{i-1,i}$, $y_{i-1,i}$, $z_{i-1,i}$, 1 вектора \mathbf{r}_{i-1} этой точки в “новой” (i-1)-й системе координат рассчитываются в общем случае по формулам (рис. 189):

$$\begin{aligned} x_{i-1,i} &= C(\hat{x}_{i-1} x_i) x_{ii} + C(\hat{x}_{i-1} y_i) y_{ii} + C(\hat{x}_{i-1} z_i) z_{ii} + x_{i-1,i}^0; \\ y_{i-1,i} &= C(\hat{y}_{i-1} x_i) x_{ii} + C(\hat{y}_{i-1} y_i) y_{ii} + C(\hat{y}_{i-1} z_i) z_{ii} + y_{i-1,i}^0; \\ z_{i-1,i} &= C(\hat{z}_{i-1} x_i) x_{ii} + C(\hat{z}_{i-1} y_i) y_{ii} + C(\hat{z}_{i-1} z_i) z_{ii} + z_{i-1,i}^0; \end{aligned} \quad (1)$$

$$1 = 0 x_{ii} + 0 y_{ii} + 0 z_{ii} + 1 ,$$

где C – символ, обозначающий тригонометрическую функцию “cosinus”, $\hat{x}_{i-1}x_i, \dots, \hat{z}_{i-1}z_i$ – углы, образуемые осями “старой” i-й системы координат с осями “новой” (i-1)-й системы так, что поворот определенной оси (i-1)-й системы до совмещения с соответствующей осью i-й системы виделся бы против часовой стрелки (рис. 190), $x_{i-1,i}^0, y_{i-1,i}^0, z_{i-1,i}^0$ – координаты точки O_i в (i-1)-й системе координат.

Тригонометрические функции $C(\hat{x}_{i-1}x_i), \dots, C(\hat{z}_{i-1}z_i)$ – называют направляющими косинусами осей i-й системы в (i-1)-й.

Выражение (1) можно переписать в матричном виде

$$\begin{vmatrix} X_{i-1,i} \\ Y_{i-1,i} \\ Z_{i-1,i} \\ 1 \end{vmatrix} = T_{i-1,i} \begin{vmatrix} X_{ii} \\ Y_{ii} \\ Z_{ii} \\ 1 \end{vmatrix} \quad \text{или} \quad R_{i-1,i} = T_{i-1,i} R_{i,i}, \quad (2)$$

где

$$T_{i-1,i} = \begin{vmatrix} C(\hat{x}_{i-1} \hat{x}_i) & C(\hat{x}_{i-1} \hat{y}_i) & C(\hat{x}_{i-1} \hat{z}_i) & x_{i-1,i}^o \\ C(\hat{y}_{i-1} \hat{x}_i) & C(\hat{y}_{i-1} \hat{y}_i) & C(\hat{y}_{i-1} \hat{z}_i) & y_{i-1,i}^o \\ C(\hat{z}_{i-1} \hat{x}_i) & C(\hat{z}_{i-1} \hat{y}_i) & C(\hat{z}_{i-1} \hat{z}_i) & z_{i-1,i}^o \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

– однородная матрица перехода от системы i к $(i-1)$ -й системе координат для $(i-1)$ -й кинематической пары.

Матрицу $T_{i-1,i}$ можно представить как блочную матрицу

$$T_{i-1,i} = \begin{vmatrix} M_{i-1,i} & L_{i-1} \\ 0 & 1 \end{vmatrix},$$

в которой матрица $M_{i-1,i}$ равная

$$M_{i-1,i} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix},$$

является матрицей поворота i -й системы координат относительно $(i-1)$ -й и содержит соответствующие направляющие косинусы.

Матрица $L_{i-1,i}$ является матрицей переноса начала координат i -й системы до совмещения с началом $(i-1)$ -й,

$$L_{i-1,i} = \begin{vmatrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_{i-1,i}^0 \\ y_{i-1,i}^0 \\ z_{i-1,i}^0 \end{vmatrix}.$$

где

Для сопоставления индексов выражения (1) и индексов матрицы $M_{i-1, i}$, можно воспользоваться следующей таблицей:

Первый индекс	Содержание 1-го индекса	Второй индекс	Содержание 2-го индекса
1	$x_{i-1,}$	1	x_i
2	y_{i-1}	2	y_i
3	z_{i-1}	3	z_i

Переход от одной системы координат к другой с помощью матричного аппарата оказывается удобным средством описания кинематики манипулятора. Чтобы использовать матричный аппарат преобразования координат для описания кинематики манипуляторов, свяжем по изложенным ранее правилам с каждым i -м звеном манипулятора специальные системы координат, расположенные определенным образом в i -й кинематической паре.

В этом случае переход от i -й системы координат к $(i-1)$ -й с помощью однородной матрицы перехода $T_{i-1, i}$ можно трактовать как пересчет известных координат x_{ii} , y_{ii} , z_{ii} , точки A_i некоторого i -го звена в новую $(i-1)$ -ю систему координат, связанную с $(i-1)$ -м звеном. При переходе от i -й системы координат к $(i-1)$ -й полагают, что оси i -й системы, “уходя” от $(i-1)$ -й из положения, когда они полностью совпадали с $(i-1)$ -й системой в то положение, которое они занимают, вращались против часовой стрелки относительно соответствующей оси поворота.

В общем случае, чтобы совместить “новое” $(i-1)$ -е положение со “старым” i -м положением системы, используя движение “новой” системы к “старой”, необходимо шесть независимых перемещений относительно трех осей координат.

Однако при использовании специальных систем координат и так называемых преобразований Денавита–Хартенберга достаточно четырех перемещений, осуществляемых в следующей последовательности (рис. 191):

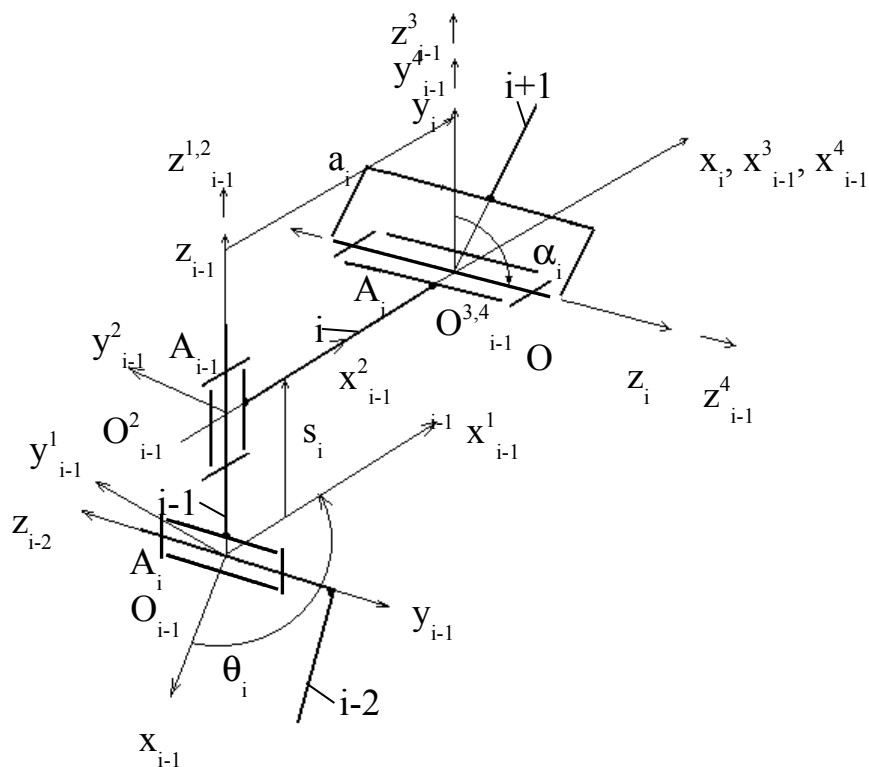


Рис. 191. Преобразование Денавита–Хартенберга

1) Поворот $(i-1)$ -й системы вокруг оси z_{i-1} против часовой стрелки на угол θ_i (если смотреть со стороны оси z_{i-1}) до тех пор, пока ось x_{i-1} не станет параллельной и однонаправленной с осью x_i ;

2) Сдвиг повернутой $(i-1)$ -й системы вдоль оси z_{i-1} на величину S_i до тех пор, когда ось x_{i-1} совпадет с осью x_i ;

3) Сдвиг $(i-1)$ -й системы вдоль оси x_i на величину a_i до совпадения начал координат систем $(i-1)$ и i ;

4) Поворот вокруг оси x_i против часовой стрелки на угол α_i (если смотреть со стороны оси x_i) до совмещения оси z_{i-1} с осью z_i .

Перечисленные эволюции $(i-1)$ -й системы координат применительно к звеньям манипулятора показаны на рис. 191. Каждое

из упомянутых элементарных движений (i-1)-й системы координат описывается соответствующей частной матрицей перехода.

1. Поворот вокруг оси z_{i-1} на угол θ_i :

$$T_{i-1,i}^{z\theta} = \begin{vmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

2. Сдвиг по оси z_{i-1} на величину S_i :

$$T_{i-1,i}^{zS} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

3. Сдвиг по оси x_i на величину a_i :

$$T_{i-1,i}^{xa} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

4. Поворот вокруг оси x_i на угол α_i :

$$T_{i-1,i}^{x\alpha} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

где S означает тригонометрическую функцию “sinus”.

Результирующая матрица перехода от i -й системы координат к (i-1)-й, т.е. матрица, осуществляющая преобразование системы координат i -го звена в систему координат (i-1)-го звена, получается путем перемножения частных матриц перехода, а именно:

$$T_{i-1,i} = T_{i-1,i}^{z\theta} T_{i-1,i}^{zS} T_{i-1,i}^{xa} T_{i-1,i}^{x\alpha}.$$

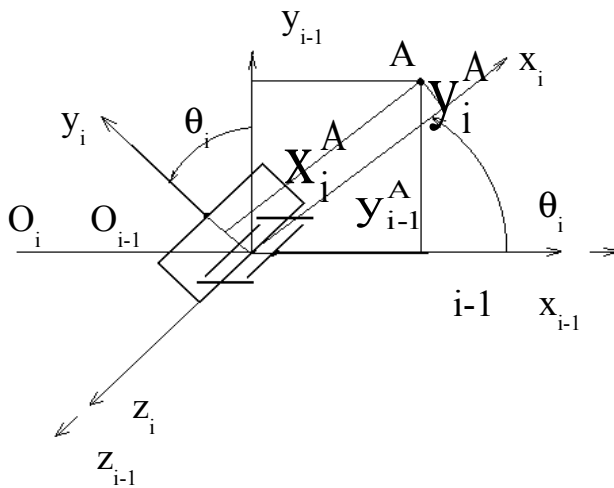
Параметры θ_i , S_i , a_i и α_i могут принимать отрицательные значения.

После преобразований результирующая матрица перехода примет вид:

$$T_{i-1,i} = \begin{vmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C\alpha_i & -C\theta_i S\alpha_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Матрица $T_{i-1,i}$ является матрицей перехода 4x4 для (i-1)-й кинематической пары. Она позволяет найти по формуле (5) координаты

$x_{i-1,i}$, $y_{i-1,i}$, $z_{i-1,i}$ некоторой точки A_i в системе (i-1) по известным координатам x_{ii} , y_{ii} , z_{ii} этой точки в i-й системе координат и по известным параметрам θ_i , S_i , a_i и α_i , кроме того, эта матрица дает возможность определить ориентацию i-го звена относительно (i-1)-го. Для этого обычно используются наддиагональные элементы a_{12} , a_{13} , a_{23} , a_{14} , a_{24} и a_{34} матрицы $T_{i-1,i}$ (см. зависимости (3) и (5)):



$$\begin{aligned} x_{i-1,i} &= a_{14}; \\ y_{i-1,i} &= a_{24}; \\ z_{i-1,i} &= a_{34}; \\ \hat{x}_{i-1} z_i &= \arccos(a_{13}); \\ \hat{y}_{i-1} z_i &= \arccos(a_{23}); \\ \hat{x}_{i-1} y_i &= \arccos(a_{12}). \end{aligned}$$

Рис. 192. Преобразование координат

Продemonстрируем преобразование координат (рис. 192), применительно к частной матрице $T_{i-1,i}^{z_0}$. В соответствии с зависимостью (1) можно записать

$$\begin{aligned} x_{i-1,i}^A &= \cos\theta_i x_{i,i}^A + \cos(90^\circ + \theta_i) y_{i,i}^A + \cos 90^\circ z_{i,i}^A + 0; \\ y_{i-1,i}^A &= \cos(270^\circ + \theta_i) x_{i,i}^A + \cos\theta_i y_{i,i}^A + \cos 90^\circ z_{i,i}^A + 0; \\ z_{i-1,i}^A &= \cos 90^\circ x_{i,i}^A + \cos 90^\circ y_{i,i}^A + \cos 0^\circ z_{i,i}^A + 0; \\ 1 &= 0^\circ x_{i,i}^A + 0^\circ y_{i,i}^A + 0^\circ z_{i,i}^A + 1 \end{aligned}$$

или, после преобразования по формулам приведения:

$$x_{i-1,i}^A = \cos\theta_i x_{i,i}^A - \sin\theta_i y_{i,i}^A + 0 z_{i,i}^A + 0 ;$$

$$y_{i-1,i}^A = \sin\theta_i x_{i,i}^A + \cos\theta_i y_{i,i}^A + 0 z_{i,i}^A + 0 ;$$

$$z_{i-1,i}^A = 0 x_{i,i}^A + 0 y_{i,i}^A + 0 z_{i,i}^A + 0 ;$$

$$1 = 0 x_{i,i}^A + 0 y_{i,i}^A + 0 z_{i,i}^A + 1 .$$

Выписывая коэффициенты при $x_{ii}^A, y_{ii}^A, z_{ii}^A$ в отдельную матрицу, получим

$$T_{i-1,i}^{z\theta} = \begin{vmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

аналогичную матрицу (4), отражающей поворот i -й системы относительно оси z_{i-1} ($i-1$)-й системы на угол θ_i .

Приведем для справки матрицу поворота i -й системы вокруг оси y_{i-1} на угол β_i :

$$T_{i-1,i}^{y\beta} = \begin{vmatrix} C\beta_i & 0 & S\beta_i & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -S\beta_i & 0 & C\beta_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

7.3 Прямая задача кинематики манипуляторов

7.3.1 Постановка задачи и параметрическое описание кинематики манипулятора

В принятых нами специальных системах координат ось z_i всегда направлена: во вращательной кинематической паре по оси вращения; в поступательной кинематической паре параллельно направляющей кинематической пары.

Напомним, что положение i -го звена относительно ($i-1$)-го определяется обобщенной координатой q_i .

Если два звена соединены вращательной парой, то при вращении i -го звена относительно ($i-1$)-го из четырех параметров θ_i ,

S_i , a_i и α_i , переменным (обобщенной координатой q_i) будет параметр θ_i , т.е. во вращательной кинематической паре (рис. 193, а): $q_i = \theta_i$; $S_i = \text{const}$; $a_i = \text{const}$; $\alpha_i = \text{const}$.

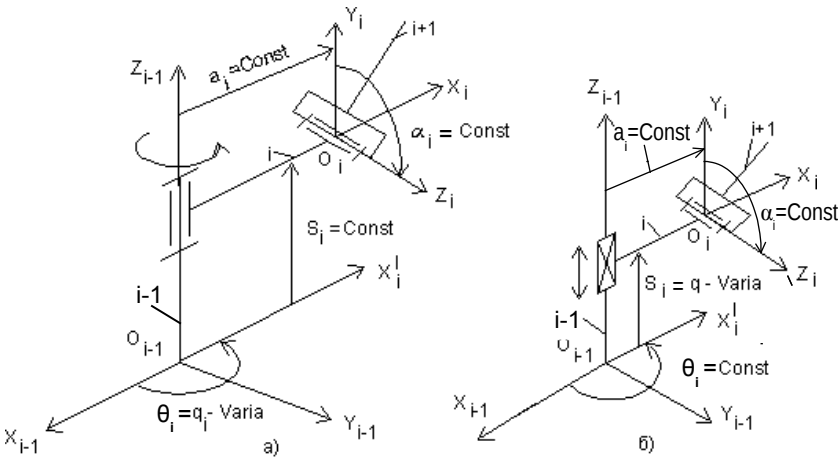


Рис. 193. Перемещение звеньев по обобщенным координатам

Если два звена соединены поступательной парой, то при перемещении i -го звена относительно $(i-1)$ -го из четырех параметров θ_i , S_i , a_i и α_i переменным (обобщенной

координатой q_i) будет параметр S_i , т.е. в поступательной паре (рис. 193, б): $q_i = S_i$; $\theta_i = \text{const}$; $a_i = \text{const}$; $\alpha_i = \text{const}$.

Таким образом, из четырех параметров, ориентирующих i -ю систему координат, а следовательно, и i -е звено относительно $(i-1)$ -го при движении i -го звена относительно $(i-1)$ -го переменным будет один параметр θ_i или S_i , а три остальных – постоянными.

Для описания кинематики манипулятора целесообразно использовать специальную таблицу кинематических пар, в которой для конкретного манипулятора проставляются определенные значения параметров θ_i , S_i , a_i и α_i , а переменные параметры, являющиеся обобщенными координатами, отражаются буквой q_i .

Таблица 3

Параметры кинематических пар

Номер (i-1)-й	Тип кинематической	Номер i-го	Параметры кинематической пары
---------------	--------------------	------------	-------------------------------

кинематической пары	пары (вращательная или поступательная)	подвижного звена				
			θ_i	S_i	a_i	α_i
0	Вращательная или поступательная	1				
1		2				
.		.				
.		.				
n-1		n				
Пример для манипулятора ВПВ (рис. 194)						
0	Вращательная	1	q_1	0	0	0
1	Поступательная	2	π	q_2	a^*_2	$0,5\pi$
2	Вращательная	3	q_3	0	a^*_3	- $0,5\pi$

Примечание: a_2^* и a_3^* – некоторые фиксированные значения параметров a_2 и a_3 .

Рассмотрим порядок назначения систем координат звеньев манипулятора и определения параметров кинематических пар на примере манипулятора ВПВ (рис. 194).

Система координат $O_0X_0Y_0Z_0$ выбрана произвольно при обеспечении направления оси z_0 по оси кинематической пары A_0 .

В системе координат $O_1X_1Y_1Z_1$ ось z_1 направлена по направляющей кинематической пары A_1 и совмещена с осью z_0 . Начало координат O_1 может быть выбрано в любой точке оси z_1 . В нашем случае она совмещена с O_0 , поэтому $S_1=0$; $a_1 = 0$; оси z_0 и z_1 совпадают, значит $\alpha_1= 0$. Так как звено 1 вращается относительно звена 0, переменным является угол θ_1 , следовательно, $q_1 = \theta_1$.

Система координат $O_2X_2Y_2Z_2$ выбрана по ранее изложенному правилу. Так как пара A_1 поступательная (звено 2 перемещается относительно звена 1), то расстояние S_2 будет переменным (обобщенной координатой) $S_2 = q_2$. Величины θ_2 , a_2 и α_2 , найдены по

общему правилу: $\theta_2 = \pi$; $\alpha_2 = 0,5\pi$; $a_3 = a_3^*$. Понятно, что их значения постоянны.

Система координат $O_3X_3Y_3Z_3$ выбрана по правилу для n-го (последнего) звена; начало O_3 координат назначено в центре схвата, ось x_3 направлена перпендикулярно оси z_2 . Так как пара A_2 вращательная, то переменным параметром будет $\theta_3 = q_3$. Параметры S_3 , a_3 и α_3 определяются по общему правилу: $S_3 = 0$; $a_3 = a_3^*$; $\alpha_3 = -1,5\pi$ и являются постоянными.

Найденные таким образом параметры манипулятора ВПВ сведены в таблицу кинематических пар (табл. 3).

Итак, нами полностью подготовлены основания для формулирования и решения прямой задачи кинематики манипуляторов.

Прямая задача кинематики манипуляторов заключается в определении положения его звеньев в неподвижной (инерциальной) системе координат по известным значениям обобщенных координат и при известных значениях параметров кинематических пар: θ_i , S_i , a_i , α_i .

$$\begin{aligned} R_{n-1,n} &= T_{n-1,n} R_{n,n}; \\ R_{n-2,n} &= T_{n-2,n-1} R_{n-1,n}; \\ &\dots\dots\dots \\ R_{1,n} &= T_{1,2} R_{2,n}; \\ R_{0,n} &= T_{0,1} R_{1,n}. \end{aligned}$$

Подставив в последнее равенство последовательно все предыдущие, получим

$$R_{0,n} = T_{0,1} T_{1,2} \dots T_{n-1,n} R_{n,n} \quad (6)$$

или в более общем виде

$$\begin{aligned} R_{0,n} &= T_{0,n} R_{nn} , \\ \text{где } T_{0,n} &= T_{0,1} T_{1,2} \dots T_{n-2, n-1} T_{n-1, n} . \end{aligned} \quad (7)$$

Последнее выражение (7) можно представить в матричной форме

$$T_{0,n} = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_{11}^{0n} & \mathbf{a}_{12}^{0n} & \mathbf{a}_{13}^{0n} & \mathbf{a}_{14}^{0n} \\ \mathbf{a}_{21}^{0n} & \mathbf{a}_{22}^{0n} & \mathbf{a}_{23}^{0n} & \mathbf{a}_{24}^{0n} \\ \mathbf{a}_{31}^{0n} & \mathbf{a}_{32}^{0n} & \mathbf{a}_{33}^{0n} & \mathbf{a}_{34}^{0n} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Обратим внимание на следующее обстоятельство: начало координат n -го звена совпадает с центром схвата, следовательно:

$$x_{nn}=y_{nn}=z_{nn}=0 \quad \text{и} \quad R_{n,n} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}. \quad \text{Тогда } R_{0n} = \begin{vmatrix} a_{1n}^{0n} \\ a_{2n}^{0n} \\ a_{3n}^{0n} \\ 1 \end{vmatrix}.$$

Значит, первые три элемента 4-го столбца матрицы $T_{0,n}$, а именно, элементы a_{14}^{0n} , a_{24}^{0n} и a_{34}^{0n} представляют собой координаты центра схвата, т. е.

$$X_{0,n} = a_{14}^{0n}; \quad Y_{0,n} = a_{24}^{0n}; \quad Z_{0,n} = a_{34}^{0n}.$$

Это объясняется тем, что названные элементы являются координатами, отражающими смещение (перенос) начала n -й системы

В

0-й системе координат.

Матрица $T_{0,n}$ по структуре аналогична матрице $T_{i-1,i}$ (см. зависимость (5)). Следовательно, 1-й элемент 2-го столбца и первые два элемента 3-го столбца будут являться направляющими косинусами осей z_n и y_n относительно осей x_0 и y_0 , а именно:

$$\cos(\hat{x}_0 y_n) = a_{12}^{0n}, \cos(\hat{x}_0 z_n) = a_{13}^{0n}, \cos(\hat{y}_0 z_n) = a_{23}^{0n}.$$

Это позволяет определить углы между соответствующими осями:

$$\hat{x}_0 y_n = \arccos a_{12}^{0n}, \hat{x}_0 z_n = \arccos a_{13}^{0n}, \hat{y}_0 z_n = \arccos a_{23}^{0n}.$$

Именно эти углы применительно к звеньям $i-1$ и i показаны на рис. 190.

Заметим еще раз, что положение схвата в пространстве (его координаты и ориентация) определяется шестью наддиагональными элементами матрицы $T_{0,n}$. Таким образом, шесть наддиагональных элементов матрицы $T_{0,n}$ дают полную информацию о положении схвата в пространстве.

Следовательно, отпадает необходимость в расчете по формуле (6), а достаточно использовать выражение (7) в виде:

$$T_{0n} = \begin{vmatrix} a_{11}^{0n} & a_{12}^{0n} & a_{13}^{0n} & a_{14}^{0n} \\ a_{21}^{0n} & a_{22}^{0n} & a_{23}^{0n} & a_{24}^{0n} \\ a_{31}^{0n} & a_{32}^{0n} & a_{33}^{0n} & a_{34}^{0n} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = T_{0,1} T_{1,2} \dots T_{i-1,i} \dots T_{n-2,n-1} T_{n-1,n}. \quad (8)$$

Для определения положения любого промежуточного i -го звена манипулятора относительно стойки достаточно перемножить соответствующее число первых слева матриц перехода, т.е. воспользоваться выражением, которое приводится ниже

$$T_{0,i} = T_{0,1} T_{1,2} \dots T_{i-1,i} = \begin{vmatrix} a_{11}^{0i} & a_{12}^{0i} & a_{13}^{0i} & a_{14}^{0i} \\ a_{21}^{0i} & a_{22}^{0i} & a_{23}^{0i} & a_{24}^{0i} \\ a_{31}^{0i} & a_{32}^{0i} & a_{33}^{0i} & a_{34}^{0i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Наддиагональные элементы этой матрицы и дадут искомое решение.

Можно также определить положение любого m -го звена относительно k -го ($k < m$) по формуле:

$$T_{k,m} = T_{k,k+1} T_{k+1,k+2} \dots T_{m-1,m} = \begin{vmatrix} a_{11}^{km} & a_{12}^{km} & a_{13}^{km} & a_{14}^{km} \\ a_{21}^{km} & a_{22}^{km} & a_{23}^{km} & a_{24}^{km} \\ a_{31}^{km} & a_{32}^{km} & a_{33}^{km} & a_{34}^{km} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Заметим, что в силу закона ассоциативности исходные матрицы-сомножители, записанные в порядке возрастания номеров звеньев и пар манипулятора, можно перемножать как справа налево, так и слева направо.

Перемножение справа налево, видимо, более наглядно, т.к. последовательно координаты схвата пересчитываются в предыдущие системы координат. Так удобно умножать, когда определяется положение только схвата.

Перемножение слева направо позволяет попутно определить положения всех промежуточных звеньев. Для этого достаточно лишь обеспечить в ходе вычислительного процесса запоминание наддиагональных элементов матриц, получаемых как промежуточные при расчете.

7.3.2 Решение прямой задачи при позиционном управлении

Позиционное управление обеспечивает движение схвата от одной фиксированной точки к другой с остановкой в каждой точке. Поэтому с теоретической точки зрения достаточно рассмотреть

движение между двумя соседними точками, одну из которых, где схват находится в данный момент времени, назовем начальной, а другую, куда схват должен переместиться, – конечной.

Будем считать, что для решения прямой задачи при позиционном управлении известны значения обобщенных координат, соответствующие начальному и конечному положениям схвата, т.е. известны значения q_i^n и q_i^k , $i = 1 \dots n$.

Прямая задача кинематики в этом случае разделяется на две подзадачи:

1-я подзадача: Планирование траекторий в пространстве обобщенных координат. Решение этой подзадачи дает возможность определить положения каждого звена манипулятора относительно предшествующего ему звена в каждый момент времени, т.е. определить обобщенные координаты в функции времени:

$$q_i = q_i(t) \quad (i = 1, \dots, n).$$

2-я подзадача: Определение траектории движения схвата и его ориентации (а при необходимости и всех других характерных точек и звеньев манипулятора) при его движении от начальной точки к конечной.

Вторая подзадача решается с использованием зависимости (9) с учетом того, что в каждой матрице $T_{i-1, i}$ (см. формулу (5)) элементы являются функциями одной обобщенной координаты q_i :

$$q_i(t) = \begin{cases} \theta_i(t), & \text{если кинематическая пара вращательная;} \\ S_i(t), & \text{если кинематическая пара поступательная.} \end{cases}$$

Перепишем выражение (8) в виде

$$T_{0,n}(t) = T_{0,1}[q_1(t)] \cdot T_{1,2}[q_2(t)] \cdot T_{2,3}[q_3(t)] \dots T_{n-1,n}[q_n(t)],$$

из которого определим значения шести наддиагональных элементов

$$\begin{vmatrix} - & a_{12}(t) & a_{13}(t) & a_{14}(t) \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{vmatrix}$$

$$\begin{array}{cccc} - & - & a_{23}(t) & a_{24}(t) \\ - & - & - & a_{34}(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} = T_{0,1}[q_1(t)] \dots T_{n-1,n}[q_n(t)] . \quad (9)$$

Понятно, что каждый элемент этой матрицы – есть функция обобщенных координат манипулятора, т.е. $a_{j,l} = a_{j,l}(q_1, \dots, q_n; t)$ ($j = 1, 2, 3; l = 2, 3, 4$).

Таким образом, решение 2-й подзадачи есть решение основной прямой задачи манипулятора, и она решается по изложенному ранее алгоритму, если известны зависимости

$$q_i = q_i(t) ; 0 \leq t \leq T ,$$

определяемые при решении первой подзадачи (здесь T – заданное время движения схвата от начальной точки к конечной).

Решение 1-й подзадачи начинается с выбора общего вида закона движения звеньев по обобщенной координате.

Наибольшее распространение получили два закона движения.

1. Прямоугольный закон изменения ускорений при движении по обобщенной координате. Для прямоугольного закона характерно минимально возможные при данной длительности интервалов разгона и торможения значения ускорений, а следовательно, и сил инерции при движении одного звена относительно другого. Однако в начале и конце интервалов разгона и торможения возникают, так называемые “мягкие” удары, связанные с мгновенным изменением ускорений в указанные моменты.

Примечание: “жесткие” удары появляются при мгновенном изменении скорости, т.е. при ускорении, равном бесконечности.

2. Синусоидальный закон изменения ускорения при движении по обобщенной координате, обеспечивающий плавную (безударную) работу привода i -го звена.

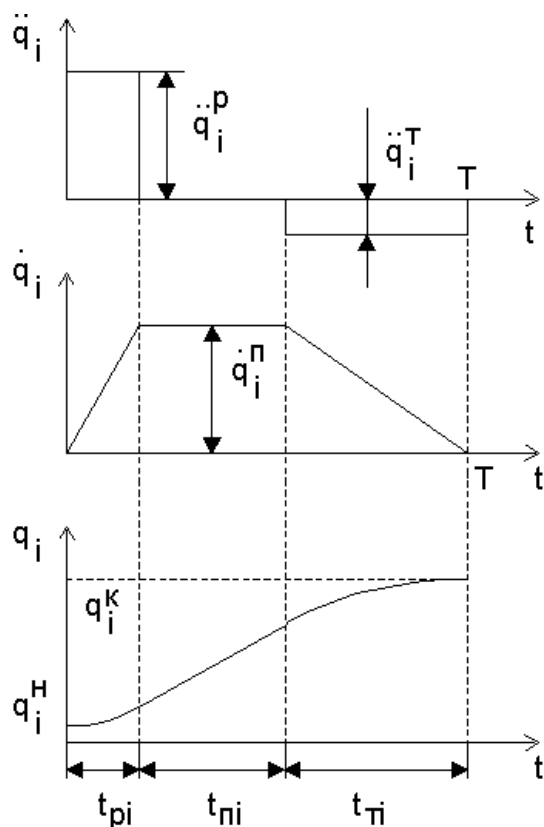


Рис. 195. Прямоугольный закон изменения ускорения

Рассмотрим названные законы движения подробнее.

При движении i -го звена относительно $(i-1)$ -го по прямоугольному закону (рис. 195) i -е звено на интервале t_{pi} разгоняется под действием постоянного усилия, которое обеспечивает постоянное ускорение \ddot{q}_i^p . При достижении максимальной постоянной скорости \dot{q}_i^p ускорение принимает значение, равное 0, а усилие привода тратится на преодоление сил трения и нагрузки.

На интервале торможения t_{Ti} работают устройства торможения, которые развивают постоянное силовое воздействие для обеспечения отрицательного ускорения \ddot{q}_i^T . Длительности интервалов разгона t_{pi} , движения с постоянной скоростью t_{ni} и торможения t_{Ti} связаны зависимостью

$$t_{pi} + t_{ni} + t_{Ti} = T,$$

где T – заданное время движения от начальной точки позиционирования схвата к конечной.

Поэтому произвольно можно назначать лишь длительности двух интервалов, например t_{pi} и t_{Ti} . Для обеспечения наибольшего быстродействия робота следует принять $t_{pi} = t_{Ti} = 0,5T$. В этом случае в первую половину интервала движение i -го звена будет равноускоренным, а во вторую – равнозамедленным.

Так как в конце интервала разгона и в начале интервала торможения скорость i -го звена одинакова, то

$$\ddot{q}_i^p t_{pi} = \ddot{q}_i^T t_{Ti}, \text{ значит } \ddot{q}_i^T = \ddot{q}_i^p (t_{pi} / t_{Ti}). \quad (10)$$

При выбранных длительностях интервалов разгона и торможения необходимо найти такую величину ускорения \ddot{q}_i^p , при которой бы звено за заданное время T переместилось из начальной точки в конечную.

По графику перемещения i -го звена можно записать уравнение связи:

$$0,5\ddot{q}_i^p t_{pi}^2 + \ddot{q}_i^T t_{pi} t_{Ti} + 0,5\ddot{q}_i^T t_{Ti}^2 = q_i^K - q_i^H.$$

Откуда с учетом зависимости (10) получим

$$\ddot{q}_i^p = (q_i^K - q_i^H) / [0,5t_{pi}^2 + t_{pi} t_{Ti} + 0,5t_{Ti}^2].$$

После определения обобщенных ускорений \ddot{q}_i^p и \ddot{q}_i^T по известным зависимостям можно определить обобщенные скорости \dot{q}_i и обобщенные координаты q_i i -го звена в любой момент времени:

– на участке разгона: $(0 \leq t \leq t_{pi})$

$$q_i = q_i^H + 0,5 \ddot{q}_i^p t^2, \quad \dot{q}_i = \ddot{q}_i^p t.$$

– на участке движения с постоянной скоростью: $(t_{pi} < t \leq t_{pi} + t_{Ti})$;

$$q_i = q_i^H + 0,5 \ddot{q}_i^p t_{pi}^2 + \ddot{q}_i^p t_{pi} (t - t_{pi}), \quad \dot{q}_i = \ddot{q}_i^p t_{pi}.$$

– на участке торможения: $(t_{pi} + t_{Ti} < t \leq T)$,

$$q_i = q_i^H + 0,5 \ddot{q}_i^p t_{pi}^2 + \ddot{q}_i^p t_{pi} t_{Ti} + \ddot{q}_i^T t_{pi} (t - t_{pi} - t_{Ti}) - 0,5 \ddot{q}_i^T (t - t_{pi} - t_{Ti})^2;$$

$$\dot{q}_i = \ddot{q}_i^p t_{pi} - \ddot{q}_i^T (t - t_{pi} - t_{Ti}).$$

Итак, получены зависимости $q_i = q_i(t)$ и $\dot{q}_i = \dot{q}_i(t)$ при $0 \leq t \leq T$, подставляя которые в (9) можно определить положение схвата в любой момент времени и в целом получить траекторию движения.

Рассмотренный закон движения представляет собой простейший пример использования сплайн-функций для описания относительного движения звеньев по обобщенным координатам.

Рассмотрим полученную функцию именно как сплайн-функцию, т.е. как кусочно-непрерывную функцию, составленную из нескольких отрезков некоторых непрерывных функций.

График требуемой функции перемещения q_i и графики ее производных \dot{q}_i и \ddot{q}_i должны пройти через восемь фиксированных точек (рис. 195), которые можно использовать в качестве граничных условий при проектировании закона движения. Сформулируем граничные условия:

$$\begin{aligned} t = 0; & 1) q_i^p(0) = q_i^H; \quad 2) \dot{q}_i^p(0) = 0; \\ t = t_{pi}; & 3) q_i^p(t_p) = q_i^n(t_n); \quad 4) \dot{q}_i^p(t_p) = \dot{q}_i^n(t_n); \\ t = t_{pi} + t_{mi}; & 5) q_i^n(t_p + t_n) = q_i^T(t_{pi} + t_{mi}); \quad 6) \dot{q}_i^n(t_n + t_m) = \dot{q}_i^T(t_{ni} + t_{mi}); \\ t = T; & 7) q_i^T(T) = q_i^K; \quad 8) \dot{q}_i^T(T) = 0. \end{aligned}$$

Для удовлетворения этих граничных условий надо в аналитическом выражении $q_i(t)$ иметь восемь свободных коэффициентов, что будет выполнено, если принять:

$$q_i = \begin{cases} a_2 t^2 + a_1 t + a_0 & \text{при } 0 \leq t \leq t_p \\ b_1 t + b_0 & \text{при } t_n < t \leq t_p + t_n \\ \tilde{n}_2 t^2 + c_1 t + \tilde{n}_0 & \text{при } t_{pi} + t_{mi} < t \leq T \end{cases}.$$

Продифференцируем необходимое число раз приведенные полиномы и получим еще четыре уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{q}_i^p(t) &= 2a_2 t + a_1; \\ \ddot{q}_i^p(t) &= 2a_2; \\ \dot{q}_i^n(t) &= b_1; \\ \dot{q}_i^T(t) &= 2c_2 t + c_1. \end{aligned}$$

Значения коэффициентов $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, c_0, c_1$ и c_2 определяются по граничным условиям из решения системы приведенных выше уравнений.

Подставляя полученные значения этих коэффициентов в исходные полиномы и их производные, найдем все необходимые зависимости для расчета обобщенных координат, скоростей и ускорений, аналогичные ранее полученным из других предпосылок.

Заметим, что по различным степеням подвижности значения интервалов разгона, движения с постоянной скоростью и торможения в общем случае могут быть различны.

Для обеспечения плавной безударной работы привода используют законы движения, в которых ускорение плавно изменяется от нуля в начале интервала разгона до некоторой максимальной величины, а затем плавно убывает от нуля. Одним из наиболее распространенных законов такого типа является синусоидальный закон. Для установления зависимостей между длительностями интервалов движения, величинами обобщенных ускорений, скоростей и перемещений здесь удобно использовать диаграмму обобщенных скоростей $\dot{q}_i(t)$:

$$\dot{q}_i(t) = \begin{cases} 0,5 \dot{q}_i^n [1 - \cos(\pi t/t_{pi})] & \text{при } 0 \leq t \leq t_p \\ \dot{q}_i^n & \text{при } t_{\delta i} \leq t \leq t_{pi} + t_{ni} \\ 0,5 \dot{q}_i^n \{1 + \cos[\pi(t - t_{pi} - t_{ni})/(T - t_{pi} - t_{ni})]\} & \text{при } t_{pi} + t_{ni} < t \leq T \end{cases}$$

Дифференцируя это выражение, получим функции для обобщенных ускорений $\ddot{q}_i(t)$. Интегрируя же эту зависимость от 0 до T и приравнявая результат к полному перемещению за время T по обобщенной координате q_i , равному $q_i^K - q_i^H$, находится постоянная интегрирования $\dot{q}_i^n = \text{const}$, а после этого и зависимость $q(t)$.

Полученные законы движения являются по сути сплайн-функциями, т.е. функциями, составленными из отрезков нескольких простейших функций, имеющих касание друг с другом того или иного порядка.

7.4 Планирование траекторий манипуляторов

Вопрос планирования траекторий рассмотрим на примере робототехнических комплексов (РТК). Компонировка РТК и состав его оборудования являются наиболее существенными факторами, влияющими на траекторию схвата. Важным фактором при планировании траектории являются также функции, выполняемые роботом в РТК.

Различают несколько типов производственных ситуаций.

1. Промышленный робот только загружает или только разгружает оборудование, или робот обслуживает РТК с объединенным входом и выходом. В этом случае траектории схвата в прямом и обратном направлениях совпадают.

2. Робот обслуживает РТК, в котором входной и выходной накопители (или позиции захвата заготовки и разгрузки детали) расположены на небольшом расстоянии друг от друга.

В такой производственной ситуации траектории прямого и обратного перемещения схвата близки друг к другу и могут быть приняты одинаковыми на значительном протяжении с различием в непосредственной близости от соответствующего оборудования.

3. Робот обслуживает РТК, в котором по условиям общей компоновки ГПС и планирования транспортных путей в цехе входные и выходные позиции разнесены на достаточно большие расстояния. Обычно такая производственная ситуация возникает при обслуживании роботом нескольких единиц технологического оборудования

(от 2 до 6), расположенных в последовательности технологического процесса. Многостаночное обслуживание роботом используется при значительной продолжительности технологических операций, например, при механообработке на токарных или фрезерных станках. Это наиболее типичный случай, включающий в себя как частные два предыдущих.

Именно в таких производственных сценах вопрос планирования траекторий является наиболее содержательным. В дальнейшем будем рассматривать 3-й тип производственной сцены, к которому могут быть сведены многие другие, за исключением случаев, когда траектория и ориентация схвата строго заданы на всем протяжении.

Заметим, что оборудование с целью сокращения времени и затрат на транспортирование деталей роботом должно устанавливаться на минимально возможном расстоянии друг от друга

с расположением мест обслуживания по возможности на одном уровне и на одной прямой или на одной дуге окружности.

Планирование траекторий движения схвата начинается с анализа местных траекторий манипулятора, т.е. траекторий перемещения схвата вблизи рабочей зоны определенного оборудования или пары соседнего оборудования.

На местных траекториях манипулирования выделяют следующие характерные участки:

- установка и съём изделия с оборудования;
- сопряжение схвата с изделием и съём схвата с изделия;
- вход и выход схвата из рабочей зоны технологического оборудования (ТО);
- перемещение от одного оборудования к другому: подход, уход, движение мимо оборудования;
- перемещения, необходимые для смены схвата.

Некоторые участки в реальном РТК могут отсутствовать. При рассмотрении производственных сцен РТК используют системы координат, связанные с технологическим оборудованием и с промышленным роботом. Оси координат, связанные с ТО назначаются следующим образом. Ось $Z_{\text{ТО}}$ направляется вверх, ось $X_{\text{ТО}}$ по направлению к лицевой стороне ТО, тогда ось $Y_{\text{ТО}}$ ориентируется по направлению от j -го оборудования к $(j+1)$ -му (слева направо), т.е. в направлении, соответствующим ходу технологического процесса. Инерциальная система координат робота, связывается с неподвижным звеном робота и ориентируется по ранее изложенным правилам.

Рекомендуется четыре варианта расположения робота в системе координат ТО, при которых углы между осями $O_{\text{ТО}}X_{\text{ТО}}$ и O_0X_0 составляют 0° , 90° , 180° и 270° . Это наиболее естественное расположение, обеспечивающее, кроме того, и определенную простоту пересчета координат. Однако при необходимости эти

системы координат могут располагаться произвольно по отношению друг к другу.

При установке и съеме изделия с оборудования для большинства типов технологического оборудования характерны три вида ориентации траектории схвата:

- по оси $X_{то}$: печи, окрасочные камеры, прессы горячей штамповки и т.д.
- по оси $Y_{то}$: токарные станки;
- по оси $Z_{то}$: вертикально фрезерные станки, плоскошлифовальные, зубофрезерные станки, операции укладки изделий в тару, магазины, загрузочные устройства.

Ориентация траекторий съема-установки схвата с/на изделия могут быть и более разнообразными: в зоне положительных и отрицательных значений осей $X_{то}$ и $Y_{то}$, но всегда в положительной части оси $Z_{то}$.

По характеру движения относительно изделия схваты делят на два вида.

Боковые: схват снимается с изделия или одевается на него перпендикулярно направлению съема изделия с оборудования. Такие схваты используются чаще, т.к. позволяют совместить движение съема схвата с изделием с движением его выхода из рабочей зоны;

Торцевые: схват снимается с изделия в том же направлении, что и само изделие с оборудования. Такие схваты применяют, когда захват деталей за боковые поверхности невозможен из-за их малых размеров, неудобной формы или препятствия со стороны ТО, а также при захвате за внутренние поверхности.

Траектория выхода схвата из рабочей зоны может быть ориентирована по любой из трех осей:

- выход по оси $X_{то}$ является наиболее естественным, т.к. такое направление совпадает с направлением движения, выполняемым

оператором при неавтоматизированном обслуживании. Однако при этом зона оператора оказывается занятой.

– выход по оси $Y_{то}$, а также в отрицательном направлении осей $X_{то}$ и $Y_{то}$ осуществляется реже, т.к. конструкцией оборудования, как правило, не предусмотрено его обслуживание с этих сторон. К преимуществам выхода по оси $Y_{то}$ и в отрицательном направлении оси $X_{то}$ относится свободный подход оператора к рабочей зоне оборудования для его настройки, а также для загрузки-разгрузки вручную при отказе робота.

– выход по оси $Z_{то}$ применяется при подвесной установке робота на портале. При напольной установке ПР такой выход может оказаться целесообразным из-за возможности сокращения траекторий, поскольку в этом направлении размеры препятствий обычно невелики.

– выход в произвольном направлении, несовпадающим с координатными осями, используется при обслуживании ТО несколькими ПР, при применении двуруких роботов, роботов со сферической или сложной полярной системой координат, при малых размерах ПР по сравнению с обслуживаемым ТО.

Обычно в этом случае отклонение этих траекторий от естественных осей оборудования незначительно и на первых этапах проектирования такой выход или вход можно считать совпадающим с осями координат ТО.

Ориентация траекторий движения схвата от предыдущего оборудования к последующему, выстроенному по ходу технологического процесса, осуществляется в общем случае по всем направлениям: при напольной установке ПР чаще используются перемещения по четырем направлениям: в положительном и отрицательном направлениях осей $X_{то}$ и $Y_{то}$, т.е. уход и подход от одного ТО к другому обычно в таком случае осуществляется в горизонтальной плоскости.

При портальной конструкции ПР наиболее часто перемещение ухода-подхода выполняется в вертикальной плоскости в положительном и отрицательном направлениях оси $Z_{то}$.

Ориентация движения схвата между оборудованием однозначно определяет ориентацию переносных степеней подвижности ПР, которые выполняют это движение, а, следовательно, и ориентацию робота относительно технологического оборудования, т.е. ориентацию инерциальной системы координат робота относительно системы координат оборудования.

При проектировании РТК целесообразно рассматривать различные варианты местных траекторий и выбирать наиболее оптимальные по ряду критериев, например, по протяженности траектории, по величине перемещений по обобщенным координатам, по времени перемещения (по быстродействию), по числу степеней подвижности, участвующих в реализации данной траектории, по удобству обслуживания оборудования оператором и наладчиком и др.

Укажем некоторые особенности использования нескольких ПР в одном РТК. Два и более ПР используются в одном РТК в следующих случаях:

1. Один робот не успевает обслуживать оборудование за требуемое время, т.е. он не укладывается в заданный по времени такт выпуска деталей.

2. Один ПР не может обеспечить съем и транспортировку детали либо из-за ее значительной массы, либо из-за больших габаритов, например, длинный вал, крыло самолета, корпусные кольца турбин и т.д.

3. Величины ходов одного ПР недостаточны для обслуживания всего РТК, а модернизация ПР с целью увеличения его зоны обслуживания нецелесообразна.

Возможны различные стратегии обслуживания ТО несколькими работами:

- каждый из роботов может обслуживать по мере необходимости любое оборудование. Это наиболее гибкая стратегия, но ее реализация достаточно сложна и на конструктивно-компоновочном, и на программно-алгоритмическом уровнях.

- все оборудование в РТК разбивается на несколько групп так, что каждую из групп может обслуживать один робот. При такой организации РТК передача изделия между участками может осуществляться следующим образом:

1. Непосредственно из схвата одного ПР в схват другого;
2. Через технологическое оборудование: один робот транспортирует изделие на технологическое оборудование – другой от технологического оборудования;
3. На дополнительной позиции передачи.

Первый способ используется редко, т.к. требует достаточно точного взаимного позиционирования схватов роботов и кроме того при этом должен быть обеспечен захват за различные поверхности изделия, что не всегда возможно.

Второй способ используется чаще других. При этом загрузка ТО производится одним ПР, а разгрузка – другим с последующей загрузкой этим роботом следующего по технологическому процессу оборудования.

Третий способ используется при больших расстояниях между ТО, а также в случае, если изделие при передаче с одного ТО на другое должно изменить ориентацию (поворот, кантование, смена технологических баз и т.д.).

Время обработки изделия на различном ТО обычно различается друг от друга. Из-за этого могут возникать простои как ТО, так и ПР. При простоях ПР он должен находиться некоторое время в позиции ожидания конца обработки изделия.

При планировании траекторий нескольких ПР в пространстве и во времени следует максимально синхронизировать их работу,

ориентируясь на более длительную технологическую операцию. В некоторых случаях это позволяет либо заметно сократить число ПР, либо организовать их синхронную работу по единой управляющей программе.

Возможна также механическая синхронизация, когда руки ПР монтируются как единое целое, либо жестко соединяются друг с другом.

При многостаночном обслуживании оборудования роботом наиболее часто в РТК в зависимости от числа схватов и организации производственной сцены возникают следующие ситуации.

1. Промышленный робот оснащен одним схватом.
2. ПР оснащен одним схватом; в составе РТК имеются позиции промежуточного хранения изделий.
3. ПР оснащен двумя схватами, закрепленными на одной руке.

В первом случае цикл начинается с разгрузки последнего по технологическому процессу оборудования с тем, чтобы обеспечить возможность разгрузки предшествующего ТО, т.е. обслуживание ТО идет в последовательности обратной последовательности технологического процесса.

Во втором случае при наличии позиции промежуточного хранения общая длина траектории существенно меньше за счет возможности смены заготовки и детали на промежуточной позиции. В этом случае заметно сокращается время простоя технологического оборудования и работа.

Третий случай, когда ПР оснащен двумя схватами, является оптимальным вариантом, т.к. длина траектории сведена здесь к минимуму. Смена заготовки на деталь в схвате и детали на заготовку в станке происходит непосредственно в рабочей зоне станка.

7.5 Обратная задача кинематики манипуляторов

После того, как выполнено планирование траектории схватов в абсолютной системе координат, возникает задача определения значений обобщенных координат манипулятора по заданному в пространстве и времени положению схвата. В результате решения обратной задачи должны быть определены в аналитической или табличной форме зависимости

$$q_1 = q_1(z_{0n}, y_{0n}, z_{0n}, \hat{x}_{0z_n}, \hat{y}_{0z_n}, \hat{x}_{0y_n}; t);$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$q_i = q_i(z_{0n}, y_{0n}, z_{0n}, \hat{x}_{0z_n}, \hat{y}_{0z_n}, \hat{x}_{0y_n}; t);$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$q_n = q_n(z_{0n}, y_{0n}, z_{0n}, \hat{x}_{0z_n}, \hat{y}_{0z_n}, \hat{x}_{0y_n}; t).$$

Положение схвата во времени при работе манипулятора непрерывно меняется по заданному закону движения. При этом центр схвата должен описывать требуемую траекторию, а схват – быть ориентирован в пространстве вполне определенным образом.

Для обеспечения требуемого положения схвата в общем случае необходимо шесть степеней подвижности: три из которых – переносные – должны обеспечивать заданное положение схвата в пространстве, т.е. заданные значения координат центра схвата:

$$x_{0n} = x_{0n}(t); y_{0n} = y_{0n}(t); z_{0n} = z_{0n}(t);$$

а другие три – ориентирующие – заданную ориентацию схвата:

$$\hat{x}_{0z_n} = f_1(t), \hat{y}_{0z_n} = f_2(t), \hat{x}_{0y_n} = f_3(t).$$

Если число степеней подвижности меньше шести, то схват не сможет занять произвольное положение в пространстве и на его

положение и ориентацию будут наложены ограничения. Когда число степеней подвижности больше шести или больше заданных условий, то схват может занять требуемое положение при различных положениях промежуточных звеньев.

Избыточные степени подвижности можно использовать для удовлетворения каких-либо дополнительных условий, например, для обхода препятствий.

В дальнейшем, если специально не будет оговорено, мы будем рассматривать случаи, когда число степеней подвижности равно числу условий на положение схвата.

К настоящему времени прямого решения обратной задачи для манипуляторов общего вида не существует. В общем случае обратная задача кинематики манипуляторов решается численно.

Рассмотрим порядок решения обратной задачи с использованием методов нелинейного математического программирования, в частности, распространенного градиентного метода.

Нелинейное математическое программирование имеет следующий алгоритм:

1. Составляется или определяется критериальная функция, как функция обобщенных координат.
2. Составляется штрафная функция, выражающая дополнительные условия при решении задач и зависящая также от обобщенных координат.
3. Составляется целевая функция, в которую входят определенным образом критериальная и штрафная функции.
4. Выбирается метод нелинейного математического программирования и в соответствии с ним составляется алгоритм оптимизации критериальной функции как части целевой функции.
5. Разрабатывается расчетная программа, и производятся расчеты до выполнения определенных условий.

Изложим последовательность решения обратной задачи кинематики с использованием методов нелинейного математического программирования.

Сформируем критериальную функцию. Так как целью решения является поиск таких значений обобщенных координат, при которых разность между заданным положением схвата и его фактическим положением равнялось нулю, то в качестве критерия можно принять сумму квадратов разностей наддиагональных элементов матрицы, задающей требуемое положение схвата, и матрицы, отражающей положение схвата при текущих значениях обобщенных координат.

Например:

$$K = [a_{12}^{l+1} - a_{12}(q_1^m \dots q_n^m)]^2 + [a_{13}^{l+1} - a_{13}(q_1^m \dots q_n^m)]^2 + [a_{14}^{l+1} - a_{14}(q_1^m \dots q_n^m)]^2 + [a_{23}^{l+1} - a_{23}(q_1^m \dots q_n^m)]^2 + [a_{24}^{l+1} - a_{24}(q_1^m \dots q_n^m)]^2 + [a_{34}^{l+1} - a_{34}(q_1^m \dots q_n^m)]^2, \quad (11)$$

где q_i^m – значение i -й обобщенной координаты на m -м шаге вычислительного процесса в ходе поиска значений q_i^{l+1} обобщенных координат соответствующих $(l+1)$ -му положению схвата ($i = 1, \dots, n$).

Функция (11) носит несколько искусственный характер. Можно предложить критериальную функцию, имеющую больший физический смысл, например, функцию $K_1 = \sqrt{K}$, являющуюся в некотором смысле расстоянием между заданным положением схвата и его промежуточным расчетным положением. Функция K_1 приобретает строгий смысл расстояния K_r между требуемым $(l+1)$ -м положением схвата и промежуточным расчетным, если не учитывать ориентацию схвата, а решать обратную задачу только применительно к его положению на заданной траектории:

$$K_r = \sqrt{(a_{14}^{l+1} - a_{14})^2 + (a_{24}^{l+1} - a_{24})^2 + (a_{34}^{l+1} - a_{34})^2}.$$

Так как перемещение по каждой степени подвижности может осуществляться только в определенных границах, то обобщенные координаты могут принимать произвольные значения в диапазоне, соответствующем этим границам: $q_i^{\min} \leq q_i \leq q_i^{\max}$. В связи с этим для

автоматического обеспечения в ходе вычислительного процесса ограничений на значения q_i вводятся штрафные функции вида

$$F_{i1} = \begin{cases} 0, & \text{если } q_i - q_i^{\min} \geq 0; \\ W_{1i} (q_i^{\min} - q_i), & \text{если } q_i - q_i^{\min} < 0; \end{cases}$$

$$F_{i2} = \begin{cases} 0, & \text{если } q_i^{\max} - q_i \geq 0; \\ W_{2i} (q_i - q_i^{\max}), & \text{если } q_i^{\max} - q_i < 0, \end{cases}$$

где W_{1i} , W_{2i} – весовые коэффициенты, которыми можно регулировать крутизну штрафных функций. Кроме указанных могут быть и другие ограничения на обобщенные координаты.

В качестве целевой функции Z можно использовать функцию, являющуюся суммой критериальной и штрафных функций, а именно:

$$Z(q_1 \dots q_n) = K + \sum F_{i1} + \sum F_{i2}. \quad (i=1, \dots, n)$$

Примем в качестве метода поиска новых значений q_i^{l+1} обобщенных координат градиентный метод, выражающийся в данном случае следующей зависимостью:

$$q_i^{m+1} = q_i^m - h_i \frac{[Z(q_1^m, \dots, q_i^m + \Delta q_i, \dots, q_n^m) - Z(q_1^m, \dots, q_i^m, \dots, q_n^m)]}{\Delta q_i},$$

где h_i – шаг по i -й обобщенной координате; Δq_i – малое приращение i -й обобщенной координаты, используемое при определении частной производной по q_i .

Отметим, что в качестве начального приближения q_i ($m=0$) используется старое значение q_i^l , т.е. в начальный момент полагают $q_i^m = q_i^l$.

Вычислительный процесс приближения к значениям q_i^{l+1} может быть прекращен по любому используемому в нелинейном

программировании признаку. В частности, его можно закончить по числу шагов итерации или по условию

$$q_i^{m+1} - q_i^m \leq [\delta_i], \quad (12)$$

где $[\delta_i]$ – допустимая по точности воспроизведения траектории величина отклонения i -й обобщенной координаты.

Учитывая характер критериальной функции K , после выполнения условий (12), в качестве окончательного следует принять значение

$$q_i^{l+1} = (q_i^{m+1} + q_i^m) / 2.$$

Отметим, что $(m+1)$ -й шаг к $(l+1)$ -й точке траектории в процессе вычислений может осуществляться по различным алгоритмам, свойственным методам нелинейного программирования. При использовании собственного градиентного метода $(m+1)$ -й шаг должен осуществляться одновременно по всем координатам в направлении антиградиента.

Полученные значения q_i^{l+1} обобщенных координат соотносятся с моментом времени t_{l+1} и запоминаются. После этого в целевую функцию Z вместо значений $a_{12}^{l+1} \dots a_{34}^{l+1}$ подставляются значения наддиагональных элементов матрицы, соответствующей моменту времени t_{l+2} , которые принимаются за $a_{12}^{l+1} \dots a_{34}^{l+1}$.

Такие вычислительные циклы должны повторяться до тех пор, пока не будут определены значения обобщенных координат для всех назначенных опорных точек $l = 1, \dots, L$ (здесь L – число заданных опорных точек на траектории движения схвата). В результате получается таблица значений обобщенных координат q_i^l ($i = 1, \dots, n$); ($l = 1, \dots, L$), которые можно трактовать как функции

$$q_i = q_i(x_{0n}, y_{0n}, z_{0n}, \hat{x}_0 z_n, \hat{y}_0 z_n, \hat{x}_0 y_n, t) \quad (i=1, \dots, n)$$

являющиеся решением обратной задачи кинематики манипулятора.

При выборе количества точек на заданной траектории возникает следующее противоречие: для более точного воспроизведения траектории желательно назначать как можно больше опорных точек, но это потребует и большего машинного времени. При небольшом количестве точек схват может отклониться от заданной траектории на недопустимую величину. Таким образом, количество необходимых опорных точек на траектории, есть функция требуемой точности воспроизведения этой траектории.

После определения в табличном виде функций $q_i = q_i(t)$ можно численно их продифференцировать и найти обобщенные скорости и ускорения, возникающие в каждой степени подвижности при реализации заданной траектории схвата. Будем использовать для этого центральную разность. Тогда

$$\dot{q}_i' = (q_i^{l+1} - q_i^{l-1})/2\Delta t ; \quad \ddot{q}_i' = (q_i^{l+1} - 2q_i^l + q_i^{l-1})/\Delta t^2 .$$

Таким образом, будут получены функции $\dot{q}_i(t)$ и $\ddot{q}_i(t)$ также в табличном виде.

Чтобы формировать управляющие воздействия в виде непрерывных функций целесообразно аппроксимировать табличные значения обобщенных координат, скоростей и ускорений. Для этого можно воспользоваться, например, интерполяционной формулой Лагранжа.

7.6 Планирование траекторий манипулятора на основе сплайн-функций

Наиболее общим случаем планирования траектории является рассмотрение траектории движения схвата из рабочей зоны одного оборудования в рабочую зону другого.

При определении траектории должны быть учтены ограничения на саму траекторию и возможные препятствия на пути схвата.

В качестве обязательных требований обычно выступают следующие:

1. В момент снятия объекта манипулирования движение схвата должно быть направлено перпендикулярно опорной поверхности приспособления ТО до тех пор, пока схват не уйдет на безопасное расстояние. Траектория от начальной точки A_H опорной поверхности до точки A_y , находящейся на безопасном расстоянии называется траекторией ухода, а сама точка A_y – точкой ухода (рис. 196).

2. В момент постановки объекта манипулирования в приспособление ТО схват, начиная с некоторого безопасного расстояния, должен подходить перпендикулярно к опорной поверхности этого приспособления. Точка A_P , находящаяся на безопасном расстоянии при подходе к ТО называется точкой подхода, а траектория от этой точки до конечной точки A_K – траекторией подхода (см. рис. 196).

В общем случае точки ухода и подхода, относящиеся к одному и тому же оборудованию могут не совпадать из-за наличия или отсутствия объекта манипулирования в схвате, различных габаритов и условий транспортирования заготовок и т. д.

3. Между точками ухода A_y и подхода A_P схват движется в крейсерском режиме по траектории оптимальной в том или ином отношении: по быстродействию, по затратам энергии, по условиям, обеспечивающим щадящий режим транспортирования объекта манипулирования (например, могут быть ограничения на максимальные значения абсолютных скоростей и ускорений схвата).

Таким образом, в качестве наиболее общего случая следует рассматривать частную траекторию движения схвата от одной остановки до другой при его перемещении между соседними единицами ТО с выделением на ней трех характерных участков:

- участок ухода $A_H A_y$;
- участок крейсерского перемещения $A_y A_P$ от j – го ТО к $(i+1)$ – му;

- участок подхода $A_{\text{п}}A_{\text{к}}$

и четырех характерных точек: $A_{\text{н}}$, $A_{\text{у}}$, $A_{\text{п}}$, $A_{\text{к}}$ – начальной, ухода, подхода и конечной.

Координаты этих точек первоначально должны быть заданы в системе координат $O_j X_j Y_j Z_j$ j -го ТО. Интересной задачей является выбор места расположения основания робота относительно требуемой траектории. После привязки системы координат робота к системе координат ТО координаты характерных точек $A_{\text{н}}$, $A_{\text{у}}$, $A_{\text{п}}$, $A_{\text{к}}$ должны быть пересчитаны в инерциальную систему $O_0X_0Y_0Z_0$ робота.

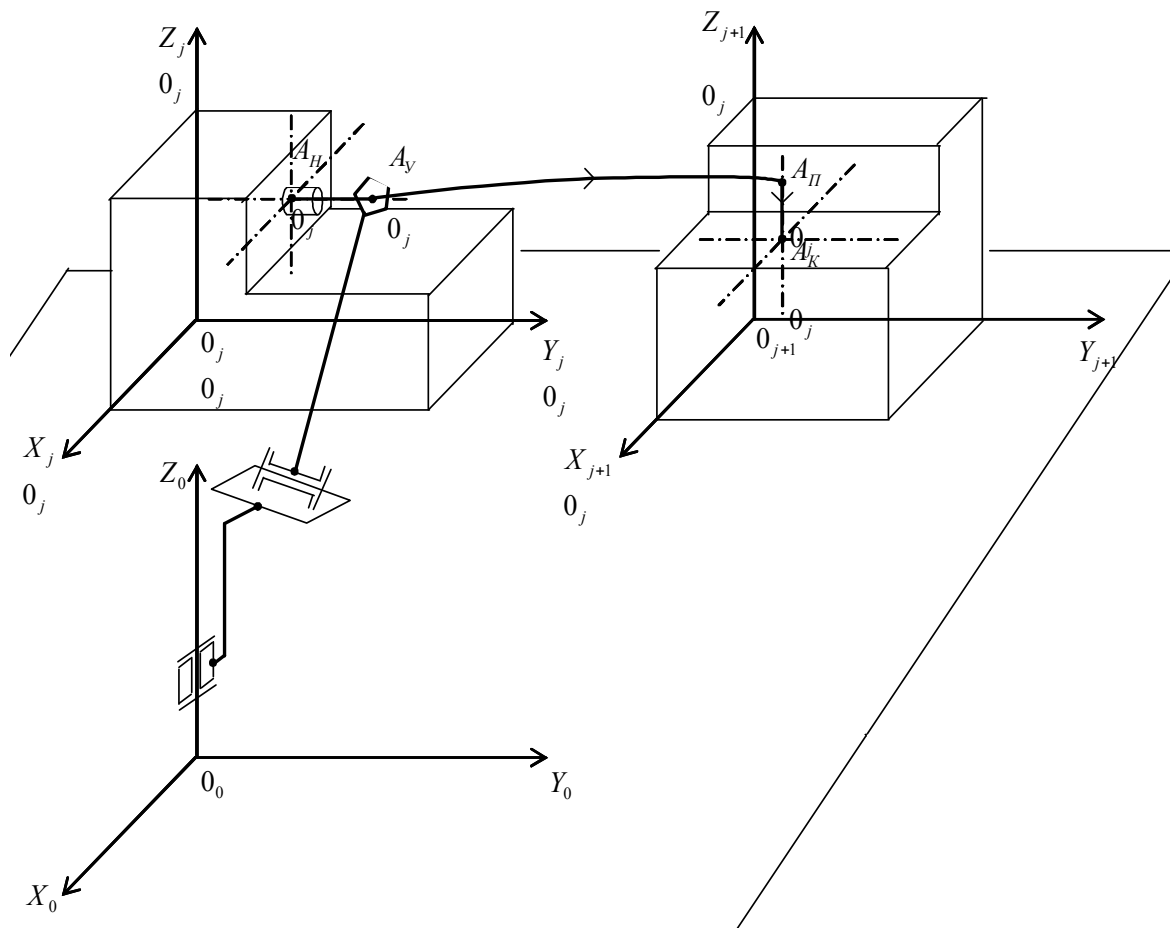


Рис. 196. Производственная сцена при планировании траектории

Планирование траектории манипулятора надо вести как в инерциальной системе координат робота, так и в системе его обобщенных координат. Учитывая, что управление манипулятором ведется в его обобщенных координатах q_i , то и планирование траекторий целесообразно вести именно в пространстве обобщенных координат.

Возможно несколько подходов к описанию траектории $A_H A_Y A_P A_K$ в зависимости от предъявленных к ней требований:

1. Траектория на всем протяжении описывается одним полиномом по каждой обобщенной координате.

2. Каждый характерный участок траектории описывается отдельной сплайн-функцией.

3. На участках ухода $A_H A_Y$ и подхода $A_P A_K$ для большей определенности она задается как функция времени в инерциальных координатах робота, например, отрезком пространственной прямой. В этом случае траектория на этих участках строго определена и не подлежит планированию, а необходимо путем решения обратной задачи рассчитать соответствующие значения обобщенных координат.

4. Участок $A_Y A_P$ крейсерского движения схвата от одного оборудования к другому с целью получения более определенной траектории и понижения степени полиномов разбивается на более мелкие дополнительные участки.

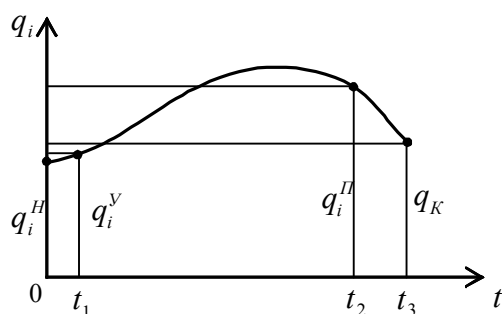


Рис. 197. Опорные точки траектории

Реализация любого из перечисленных подходов начинается с определения значений обобщенных координат, соответствующих заданным декартовым координатам точек $A_H A_Y A_P A_K$, путем решения обратной задачи кинематики.

В результате будут получены четыре опорные точки в системе обобщенных координат (рис. 197):

$$q_i^H, q_i^Y, q_i^П, q_i^K \quad (i = 1, \dots, n)$$

n — число подвижных звеньев манипулятора.

Задача теперь сводится к построению таких непрерывных или кусочно-непрерывных функций, которые бы проходили через указанные опорные точки, т. е. к определению функций

$$q_i = q_i(t); \quad 0 \leq t \leq t_3.$$

Первый подход: обобщенные траектории описываются одним полиномом. Сформируем требования, которым должна отвечать траектория в этом случае.

1. Траектория на всем протяжении должна быть гладкой.
2. Траектория должна проходить через заданные опорные точки:

$$q_i^H(0); \quad q_i^Y(t_1); \quad q_i^П(t_2); \quad q_i^K(t_3) \quad (i=1, \dots, n)$$

3. Скорости и ускорения схвата в начальной и конечной точках должны быть равны значениям, требуемым по условиям сопряжения схвата с технологической оснасткой. Обычно они равны нулю, однако, например, при работе с конвейером $V(0) \neq 0$; $V(T) \neq 0$.

Эти требования позволяют записать граничные условия для полиномов $q_i(t)$, исходя из которых можно получить требуемый закон движения звеньев манипулятора:

$$\text{Точка } A_H: \quad t=0: \quad 1) \quad q_i(0) = q_i^H; \quad 2) \quad \dot{q}_i(0) = 0; \quad 3) \quad \ddot{q}_i(0) = 0;$$

$$\text{Точка } A_Y: \quad t=t_1: \quad 4) \quad q_i(t_1) = q_i^Y;$$

$$\text{Точка } A_П: \quad t=t_2: \quad 5) \quad q_i(t_2) = q_i^П;$$

$$\text{Точка } A_K: \quad t=t_3: \quad 6) \quad q_i(t_3) = q_i^K; \quad 7) \quad \dot{q}_i(t_3) = 0; \quad 8) \quad \ddot{q}_i(t_3) = 0.$$

Таким образом, полином должен отвечать восьми граничным условиям и, следовательно, он должен быть минимум седьмой степени, когда в полиноме имеется восемь свободных коэффициентов. Если есть необходимость в выполнении каких-либо дополнительных условий, степень полинома может быть повышена на одну-две. Однако в общем случае такое увеличение нежелательно, т. к. при этом повышается непредсказуемость поведения траектории между опорными точками. Итак, рассмотрим полином седьмой степени.

$$q_i(t) = a_{7i}t^7 + a_{6i}t^6 + \dots + a_{1i}t + a_{0i} \quad (i=1, \dots, n)$$

Продифференцируем его дважды:

$$\dot{q}_i(t) = 7a_{7i}t^6 + 6a_{6i}t^5 + \dots + a_{1i};$$

$$\ddot{q}_i(t) = 42a_{7i}t^5 + 30a_{6i}t^4 + \dots + 2a_{2i}.$$

Подставим в эти выражения значения $t=0$ для точки A_H и получим:

$$a_{0i} = q_i^H; \quad a_{1i} = 0; \quad a_{2i} = 0.$$

Оставшиеся пять неизвестных коэффициентов должны быть определены по пяти неиспользованным граничным условиям из системы пяти уравнений:

$$\begin{cases} a_{7i}t_1^7 + a_{6i}t_1^6 + a_{5i}t_1^5 + a_{4i}t_1^4 + a_{3i}t_1^3 + q_i^H = q_i^V; \\ a_{7i}t_2^7 + a_{6i}t_2^6 + a_{5i}t_2^5 + a_{4i}t_2^4 + a_{3i}t_2^3 + q_i^H = q_i^П; \\ a_{7i}t_3^7 + a_{6i}t_3^6 + a_{5i}t_3^5 + a_{4i}t_3^4 + a_{3i}t_3^3 + q_i^H = q_i^K; \\ 7a_{7i}t_3^6 + 6a_{6i}t_3^5 + 5a_{5i}t_3^4 + 4a_{4i}t_3^3 + 3a_{3i}t_3^2 = 0; \\ 42a_{7i}t_3^5 + 30a_{6i}t_3^4 + 20a_{5i}t_3^3 + 12a_{4i}t_3^2 + 6a_{3i}t_3 = 0. \end{cases}$$

Каждый из коэффициентов полинома является функцией обобщенных координат характерных точек A_H , A_U , A_P , A_K и интервалов времени t_1 , t_2 и t_3 :

$$a_{ki} = a_{ki}(q_i^H, q_i^V, q_i^П, q_i^K; t_1; t_2; t_3); \quad (k=0, \dots, 7; \quad i=1, \dots, n).$$

Всего должно быть определено $8 \cdot n$ коэффициентов.

Описание траектории в пространстве обобщенных координат одним полиномом высокой степени весьма удобно с математической и алгоритмической точек зрения. Однако с физической точки зрения использование такого полинома может привести к нежелательным явлениям, а именно, к появлению эффекта “блуждания” схвата, т.е. к значительному отходу схвата от желаемой траектории (рис. 198).

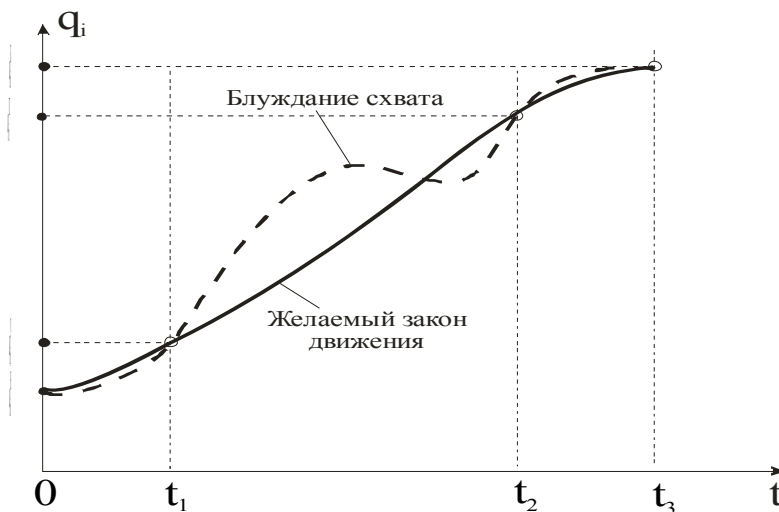


Рис. 198. Закон движения схвата

В этом случае возникает сложная задача обеспечения приемлемых отклонений действительной траектории от желаемой, что можно осуществить, отступая по

возможности от принятых значений q_i^y , $q_i^п$, t_1 , t_2 , t_3 (будем считать, что координаты начальной и конечной точек q_n и q_k изменению не подлежат, т. к. они определяются расположением оборудования и конструкцией приспособлений.)

Второй подход: Чтобы уменьшить опасность нежелательного блуждания схвата стремятся использовать полиномы возможно более низких степеней. Одним из путей понижения требуемой степени полинома является представление каждого из трех участков отдельными функциями, которые на границах участка должны быть соответствующим образом сопряжены друг с другом.

В результате траектория схвата будет представлена кусочно-непрерывной функцией, составленной из трех полиномов, так называемой сплайн-функцией.

Для рассматриваемой трехучастковой траектории с целью обеспечения плавного безударного перехода с одного участка на другой функции соседних участков должны иметь равными обобщенные координаты и их первые и вторые производные.

При рассмотрении сплайн-функций вместо абсолютного времени удобно использовать относительное (нормированное) время для каждого участка

$$\tau_m = \frac{t - t_{m-1}}{t_m - t_{m-1}}; \quad t_{m-1} \leq t \leq t_m.$$

Тогда

$$0 \leq \tau_m \leq 1.$$

Запишем граничные условия каждого из трех участков:

Первый участок

- | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|
| 1) $q_{1i}(0) = q_i^H$; | 3) $\ddot{q}_{1i}(0) = 0$; | 5) $q_{2i}(0) = q_i^Y$; | 7) $\ddot{q}_{2i}(0) = \ddot{q}_{1i}(1)$; |
| 2) $\dot{q}_{1i}(0) = 0$; | 4) $q_{1i}(1) = q_i^Y$; | 6) $\dot{q}_{2i}(0) = \dot{q}_{1i}(1)$; | 8) $q_{2i}(1) = q_i^H$; |

Третий участок

- | | | |
|---|---|------------------------------|
| 9) $q_{3i}(0) = q_i^H$; | 11) $\ddot{q}_{3i}(0) = \ddot{q}_{2i}(1)$; | 13) $\dot{q}_{3i}(1) = 0$; |
| 10) $\dot{q}_{3i}(0) = \dot{q}_{2i}(1)$; | 12) $q_{3i}(1) = q_i^K$; | 14) $\ddot{q}_{3i}(1) = 0$; |

Учитывая, что используются три полинома (по одному на каждом участке) и в каждом полиноме есть один свободный коэффициент, сумма степеней полиномов должна быть равна $14-3=11$ (здесь 14 – число приведенных выше граничных условий).

Известны различные комбинации степеней полинома на участках. Наибольшее распространение получили:

4-3-4 – траектории,

3-5-3 – траектории и

5-2-4 (или 4-2-5) – траектории.

Здесь цифры обозначают степени полинома соответственно на 1-м, 2-м и на 3-м участках.

Чаще других используется 4-3-4 – траектория, т. к. из всех упомянутых она состоит из полиномов более низких степеней.

Запишем аналитическое выражение для 4-3-4 – траектории:

$$q_i(\tau) = \begin{cases} a_{4i}\tau_1^4 + a_{3i}\tau_1^3 + a_{2i}\tau_1^2 + a_{1i}\tau_1 + a_{0i}; \\ b_{3i}\tau_2^3 + b_{2i}\tau_2^2 + b_{1i}\tau_2 + b_{0i}; \\ c_{4i}\tau_3^4 + c_{3i}\tau_3^3 + c_{2i}\tau_3^2 + c_{1i}\tau_3 + c_{0i}. \end{cases} \quad (i = 1, \dots, n)$$

Используя условия 1, 2, 3 и 5, 9, найдем:

$$\begin{aligned} a_{0i} &= q_i^H; \quad a_{1i} = 0; \quad a_{2i} = 0; \\ b_{0i} &= q_i^Y; \quad c_{0i} = q_i^H. \end{aligned} \quad (i = 1, \dots, n)$$

Продифференцируем сплайн-функции при условии, что $\dot{q}_i(0) = \dot{q}_i(T) = 0$ и $\ddot{q}_i(0) = \ddot{q}_i(T) = 0$

$$\dot{q}_i(\tau) = \begin{cases} 4a_{4i}\tau_1^3 + 3a_{3i}\tau_1^2; \\ 3b_{3i}\tau_2^2 + 2b_{2i}\tau_2 + b_{1i}; \\ 4c_{4i}\tau_3^3 + 3c_{3i}\tau_3^2 + 2c_{2i}\tau_3 + c_{1i}. \end{cases}$$

$$\ddot{q}_i(\tau) = \begin{cases} 12a_{4i}\tau_1^2 + 6a_{3i}\tau_1; \\ 6b_{3i}\tau_2 + 2b_{2i}; \\ 12c_{4i}\tau_3^2 + 6c_{3i}\tau_3 + 2c_{2i}. \end{cases}$$

Запишем по оставшимся девяти граничным условиям систему девяти уравнений:

- 1) Условие 4: $(\tau_1 = 1)$: $a_{4i} + a_{3i} + q_i^H = q_i^Y$;
- 2) Условие 6: $(\tau_1 = 1; \tau_2 = 0)$: $4a_{4i} + 3a_{3i} = b_{1i}$;
- 3) Условие 7: $(\tau_1 = 1; \tau_2 = 0)$: $12a_{4i} + 6a_{3i} = 2b_{2i}$;
- 4) Условие 8: $(\tau_2 = 1)$: $b_{3i} + b_{2i} + b_{1i} + q_i^Y = q_i^H$;
- 5) Условие 10: $(\tau_2 = 1; \tau_3 = 0)$: $3b_{3i} + 2b_{2i} + b_{1i} = c_{1i}$;
- 6) Условие 11: $(\tau_2 = 1; \tau_3 = 0)$: $6b_{3i} + 2b_{2i} = 2c_{2i}$;
- 7) Условие 12: $(\tau_3 = 1)$: $c_{4i} + c_{3i} + c_{2i} + c_{1i} + q_i^H = q_i^K$;
- 8) Условие 13: $(\tau_3 = 1)$: $4c_{4i} + 3c_{3i} + 2c_{2i} + c_{1i} = 0$;
- 9) Условие 14: $(\tau_3 = 1)$: $12c_{4i} + 6c_{3i} + 2c_{2i} = 0$.

Решая эту систему девяти уравнений, определяются девять неизвестных коэффициентов.

Заметим, что такие системы уравнений должны быть записаны для каждой из n обобщенных координат, следовательно, для робота с n степенями подвижности определению подлежит $14 \cdot n$ коэффициентов, при этом коэффициенты полиномов будут функциями параметров: $q_i^H, q_i^Y, q_i^П, q_i^K; t_1, t_2, t_3$.

Для еще большего уменьшения вероятности блуждания схвата используют сплайн-функции типа 3-3-3-3-3. В этом случае кроме

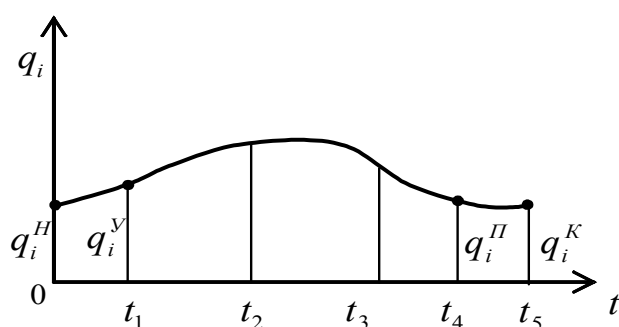


Рис. 199. Траектория, сформированная из сплайнов

ранее рассмотренных трех участков на участке $A^Y A^П$ вводятся две дополнительные опорные точки, и вместо этого одного участка возникает три (рис. 199).

Конкретные значения обобщенных координат в этих точках не регламентируются, что позволяет уменьшить число граничных условий (назначаются лишь моменты времени t_2 и t_3 (см. рис. 199) прохождения их схватом). В данном случае также будем пользоваться понятием относительного (нормированного) времени.

Запишем необходимые граничные условия для полиномов с учетом того, что сопряжение полиномов должно обеспечить на границах участков непрерывность скоростей и ускорений, а также выполнение ранее принятых условий прохождения схвата через точки $A^H, A^Y, A^П, A^K$.

Участок 1:

$$1) q_{1i}(0) = q_i^H;$$

$$2) \dot{q}_{1i}(0) = 0;$$

$$3) \ddot{q}_{1i}(0) = 0;$$

$$4) q_{1i}(1) = q_i^Y;$$

Участок 2:

$$5) q_{2i}(0) = q_i^Y;$$

$$6) \dot{q}_{2i}(0) = \dot{q}_{1i}(1);$$

$$7) \ddot{q}_{2i}(0) = \ddot{q}_{1i}(1);$$

Участок 3:

$$8) q_{3i}(0) = q_{2i}(1);$$

$$9) \dot{q}_{3i}(0) = \dot{q}_{2i}(1);$$

$$10) \ddot{q}_{3i}(0) = \ddot{q}_{2i}(1);$$

Участок 4:

$$11) q_{4i}(0) = q_{3i}(1);$$

$$12) \dot{q}_{4i}(0) = \dot{q}_{3i}(1);$$

$$13) \ddot{q}_{4i}(0) = \ddot{q}_{3i}(1);$$

$$14) q_{4i}(1) = q_i^H;$$

Участок 5:

$$15) q_{5i}(0) = q_i^H;$$

$$16) \dot{q}_{5i}(0) = \dot{q}_{4i}(1);$$

$$17) \ddot{q}_{5i}(0) = \ddot{q}_{4i}(1);$$

$$18) q_{5i}(1) = q_i^K;$$

$$19) \dot{q}_{5i}(1) = 0;$$

$$20) \ddot{q}_{5i}(1) = 0.$$

Таким образом, получено двадцать граничных условий, что равно числу коэффициентов пяти полиномов третьей степени.

Запишем сплайн-функцию 3-3-3-3-3.

$$q_i = \begin{cases} a_{3i}\tau_1^3 + a_{2i}\tau_1^2 + a_{1i}\tau + a_{0i}; \\ b_{3i}\tau_2^3 + b_{2i}\tau_2^2 + b_{1i}\tau + b_{0i}; \\ c_{3i}\tau_3^3 + c_{2i}\tau_3^2 + c_{1i}\tau + c_{0i}; \\ d_{3i}\tau_4^3 + d_{2i}\tau_4^2 + d_{1i}\tau + d_{0i}; \\ e_{3i}\tau_5^3 + e_{2i}\tau_5^2 + e_{1i}\tau + e_{0i}. \end{cases}$$

Из граничных условий 1, 2, 3, 5 и 15 определим коэффициенты: $a_{0i} = q_i^H$; $a_{1i} = 0$; $a_{2i} = 0$; $b_{0i} = q_i^Y$; $e_{0i} = q_i^H$. Аналитические выражения для расчета остальных коэффициентов находятся из систем пятнадцати уравнений, составленных для каждой из n степеней подвижности манипулятора.

7.7 Общие случаи планирования траекторий в пространстве обобщенных координат

В тех случаях, когда точки A^Y и A^H удалены друг от друга на значительные расстояния может потребоваться большее число участков, чем три или пять. Увеличение числа участков может быть

оправдано и в случае, если желательно обеспечить максимальную точность реализации траектории.

Возможны два варианта общих случаев:

Первый – когда координаты дополнительных точек не регламентированы как при рассмотрении 3-3-3-3-3 – траектории.

Второй (наиболее общий случай) – заданы координаты всех промежуточных точек.

Первый случай во многом аналогичен проектированию 3-3-3-3-3 – траектории. Рассмотрим этот случай при условии, что траектория разделена на m участков.

Учитывая, что 1-й и $(m-1)$ -й участки должны иметь по четыре ограничения, m -й – шесть ограничений, а все промежуточные по три ограничения, можно записать выражение для расчета суммы P_m степеней полиномов, удовлетворяющих сформулированным условиям:

$$P_m = 4+4+6+3(m-3)-P_c = 5 + 2m, \quad (m \geq 3)$$

где $P_c = m$ – сумма свободных членов полиномов.

В качестве примера использования полученной формулы рассчитаем сумму степеней ранее рассмотренных полиномов для случаев деления траектории соответственно на три и на пять участков:

$$m = 3; P_m = 5+2 \cdot 3 = 11; \quad m = 5; P_m = 5+2 \cdot 5 = 15.$$

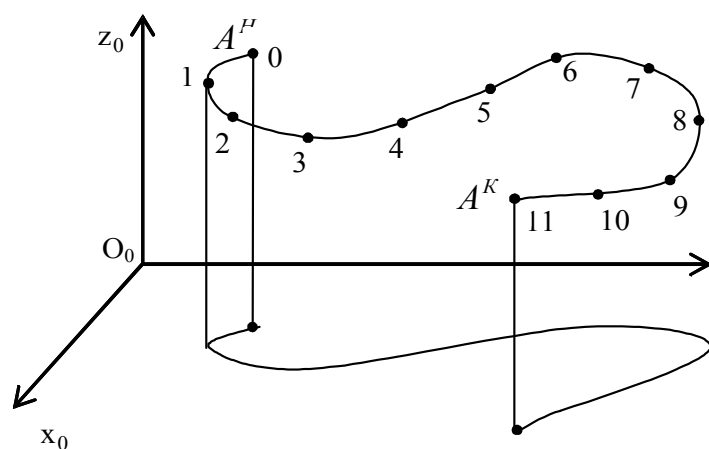


Рис. 200 Траектория движения схвата

При $m = 10$;

$$P_m = 5+2 \cdot 10 = 25.$$

Второй случай, как отмечалось, является наиболее общим случаем. Он возникает, когда траектория движения схвата является функцией времени и задана на всем

протяжении в декартовых координатах $O_0x_0y_0z_0$ манипулятора (рис. 200).

В результате решения обратной задачи кинематики находятся соответствующие заданным точкам l ($l = 0, \dots, m$) значения обобщенных координат по каждой степени подвижности:

$$q_i^H = q_i^0, q_i^1, \dots, q_i^l, \dots, q_i^{m-1}, q_i^m = q_i^K,$$

где m – число участков на траектории.

Запишем ограничения для рассматриваемого общего случая с использованием понятия относительного времени:

$$\tau_l = \frac{t - t_{l-1}}{t_l - t_{l-1}}; \quad t_{l-1} \leq t \leq t_l; \quad 0 \leq \tau_l \leq 1; \quad 0 \leq l \leq m;$$

$$\text{участок 1: } q_{1i}(0) = q_i^H; \quad \dot{q}_{1i}(0) = 0; \quad \ddot{q}_{1i}(0) = 0; \quad q_{1i}(1) = q_i^1;$$

$$\text{участок 2: } q_{2i}(0) = q_i^1; \quad \dot{q}_{2i}(0) = \dot{q}_{1i}(1); \quad \ddot{q}_{2i}(0) = \ddot{q}_{1i}(1); \quad q_{2i}(1) = q_i^2;$$

$$\text{участок 3: } q_{3i}(0) = q_i^2; \quad \dot{q}_{3i}(0) = \dot{q}_{2i}(1); \quad \ddot{q}_{3i}(0) = \ddot{q}_{2i}(1); \quad q_{3i}(1) = q_i^3;$$

.....

$$\text{участок } (l-1): q_{(l-1)i}(0) = q_i^{l-2}; \quad \dot{q}_{(l-1)i}(0) = \dot{q}_{(l-2)i}(1); \quad \ddot{q}_{(l-1)i}(0) = \ddot{q}_{(l-2)i}(1);$$

$$q_{(l-1)i}(1) = q_i^{l-1};$$

$$\text{участок } l: q_{li}(0) = q_i^{l-1}; \quad \dot{q}_{li}(0) = \dot{q}_{(l-1)i}(1); \quad \ddot{q}_{li}(0) = \ddot{q}_{(l-1)i}(1); \quad q_{li}(1) = q_i^l;$$

.....

$$\text{участок } m: q_{mi}(0) = q_i^{m-1}; \quad \dot{q}_{mi}(0) = \dot{q}_{(m-1)i}(1); \quad \ddot{q}_{mi}(0) = \ddot{q}_{(m-1)i}(1); \quad q_{mi}(1) = q_i^K = q_i^m;$$

$$\dot{q}_{mi}(1) = 0; \quad \ddot{q}_{mi}(1) = 0.$$

Определим необходимую сумму степеней аппроксимирующих полиномов, учитывая, что на участке m имеется шесть граничных условий, а на остальных по четыре.

$$P_m = 6 + 4(m-1) - P_c = 2 + 3m, \quad (m \geq 3).$$

Общим недостатком такого представления сплайн-функций $q_i(t)$ является необходимость предварительного решения систем большого числа уравнений для определения коэффициентов полиномов. Трудности усугубляются еще и тем, что при изменении числа

участков появляется новая система уравнений, которую нужно решать заново.

Законы движения $q_i(t)$, полученные в ходе планирования обобщенной траектории, должны быть проверены на возможность исполнения их соответствующими приводами. Существуют ограничения на перемещения, скорости и ускорения.

Ограничения на перемещения связаны с возможным диапазоном перемещения одного звена относительно другого. Для удовлетворения ограничений по перемещению следует определить экстремумы функций $q_i(t)$, что нетрудно выполнить после нахождения корней уравнения $\dot{q}_i(t)$. Ограничения на обобщенные скорости $\dot{q}_i(t)$ диктуются скоростными возможностями привода и допустимыми величинами накапливаемой кинетической энергии, а ограничения на обобщенные ускорения связаны с максимально возможными моментами и усилиями, которые могут развивать приводы.

Траектория движения схвата и его ориентация могут быть заданы различным образом. В частности, она может быть задана, как отмечалось ранее, некоторым числом опорных точек.

Рассмотрим случай планирования траектории, когда она задана сравнительно небольшим числом опорных точек таким образом, что в основном траектория представляется отрезками прямых линий, сопряженными некоторыми переходными участками $A_S A'_S$ (рис. 201). Будем считать, что на каждом участке прямолинейного движения S схват перемещается с заранее заданными постоянными линейными скоростями V_S (см. рис. 201), т.е.

$$V_S = \sqrt{V_{xs}^2 + V_{ys}^2 + V_{zs}^2} = \text{const}$$

Координаты точек A_S и A'_S ($S = 0, \dots, m$) как обычно задаются вначале в декартовой системе, а затем известными методами решения

обратной задачи находятся соответствующие значения обобщенных координат. Кроме того, назначаются координаты некоторого числа

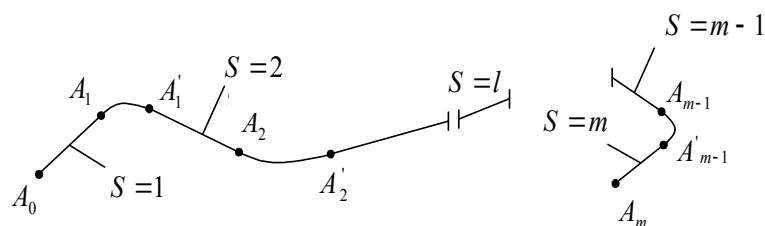


Рис. 201. Участки траектории схвата

дополнительных точек на прямолинейных участках, достаточного для их реализации с заданной точностью. Траектории

переходных участков обычно не задаются строго. Эти участки предназначены для плавного изменения направления движения и для плавного перехода со скорости V_S на скорость V_{S+1} .

Здесь возможно два подхода:

- задание переходной траектории в пространстве декартовых координат, с последующим определением обобщенных координат, которые в этом случае могут оказаться напряженными для приводов.
- определение переходных участков в пространстве обобщенных координат (метод Пола). Этот подход дает более определенные результаты для управления приводами, но сама траектория на переходных участках может оказаться неприемлемой для движения схвата, например, из-за недопустимых инерционных перегрузок.

На рис. 202 представлен пример производственной сцены, в которой может возникнуть необходимость в прямолинейных движениях схвата.

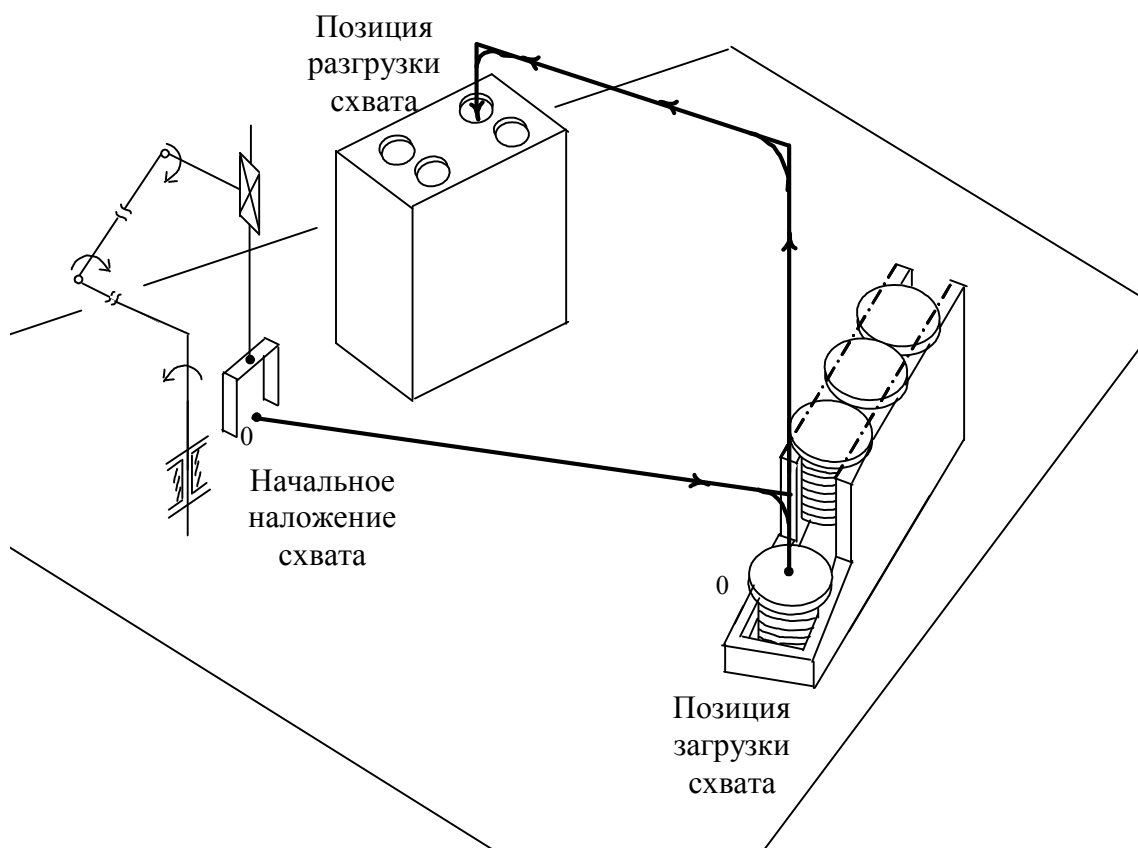


Рис. 202. Пример производственной сцены

8 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

8.1 Назначение и состав АСУ ПС

Автоматизированная система управления производственной системой (АСУ ПС) предназначена для автоматизированного решения задач оперативно-организационного управления, оперативно-диспетчерского управления и оперативно-технического управления. Указание на оперативность означает, что задачи управления решаются в реальном масштабе времени по мере их возникновения. При этом время решения каждой задачи ограничено в зависимости от осуществляемого производственного цикла.

Оперативно-организационное управление производится с целью подготовки и организации технологического процесса ГПС. Основными задачами этого вида управления являются: оперативное календарное планирование работы ГПС и автоматизация технологической подготовки производства. Оперативное календарное планирование включает разработку календарных планов работы ГПС, разработку и корректировку сменных заданий, учет ресурсов ГПС и управление пополнением расходуемых ресурсов (например, управление поступлением заготовок в ГПС), учет хода подготовки производства и др.

Автоматизация технической подготовки производства включает автоматизацию разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, автоматизацию проектирования инструмента и технологической оснастки.

Оперативно-диспетчерское управление производится с целью обеспечения функционирования технологического процесса в ГПС в соответствии с разработанными планами. Решается задача управления материальными потоками в ГПС и обеспечение взаимодействия АСС, АТС и ГПМ. Эти материальные потоки увязываются с конкретным технологическим процессом, осуществляемым в данный момент.

Кроме этого, производится управление подготовкой инструмента, подготовкой спутников, контролем качества, групповое управление оборудованием с ЧПУ, нормирование и оплата труда.



Рис. 203. Состав обеспечения АСУ ГПС

Оперативно-техническое управление осуществляется с целью обеспечения функционирования рабочих позиций и оборудования в ГПС. При этом могут решаться следующие задачи: пересылка управляющих программ локальным системам управления рабочих позиций, управление накопителями рабочих позиций, идентификация объектов обработки, контроль состояния и ресурса инструмента, контроль состояния и ресурса оборудования, учет загрузки оборудования и др.

Для решения перечисленных задач управления АСУ ГПС должна иметь соответствующее обеспечение (рис. 203). Техническое обеспечение реализуется в виде комплекса технических средств необходимых для выполнения управления и обработки информации. Основу этого комплекса составляют компьютерные средства.

Математическое обеспечение необходимо для формализации процессов управления с целью их автоматизации, а также для управления работой компьютерных средств при решении задач управления. Оно содержит формализованные математические модели управляемых объектов и процессов, алгоритмы решения различных задач управления и программное обеспечение для средств вычислительной техники.

Организационное обеспечение осуществляет распределение задач управления между техническими средствами и оперативным персоналом, состав оперативного персонала и его обязанности. Оперативный персонал обеспечивает работу АСУ ГПС.

Состав оперативного персонала и порядок его взаимодействия между собой, с технологическим оборудованием и аппаратными средствами определяет организационная структура АСУ ГПС. В общем случае в составе оперативного персонала могут быть инженеры-плановики, технологи-программисты, диспетчеры,

специалисты по обслуживанию средств вычислительной техники, специалисты по системам ЧПУ, специалисты по оборудованию.

Методическое обеспечение включает описание основных приемов и методик решения различных задач управления. Оно необходимо для правильного взаимодействия оперативного персонала с управляемым процессом и техническими средствами.

8.2 Техническое обеспечение АСУ ПС

АСУ ПС строится с использованием централизованно-распределенного принципа управления и обработки информации. В результате образуется сложная иерархическая система управления с распределением задач управления по уровням.

Конкретным объектом ГПС (станок, технологическая установка, робот, транспортное средство и др.) управляет, как правило, локальная система управления (ЛСУ). ЛСУ обеспечивает выполнение объектом требуемого рабочего цикла. За счет перепрограммирования ЛСУ можно изменить рабочий цикл объекта. ЛСУ образуют нижний уровень системы управления. Верхний уровень управления обеспечивает согласование работы управляемого оборудования для осуществления требуемого технологического процесса. Этот уровень реализуется с использованием управляющей ЭВМ, решающей задачи организационного и диспетчерского управления.

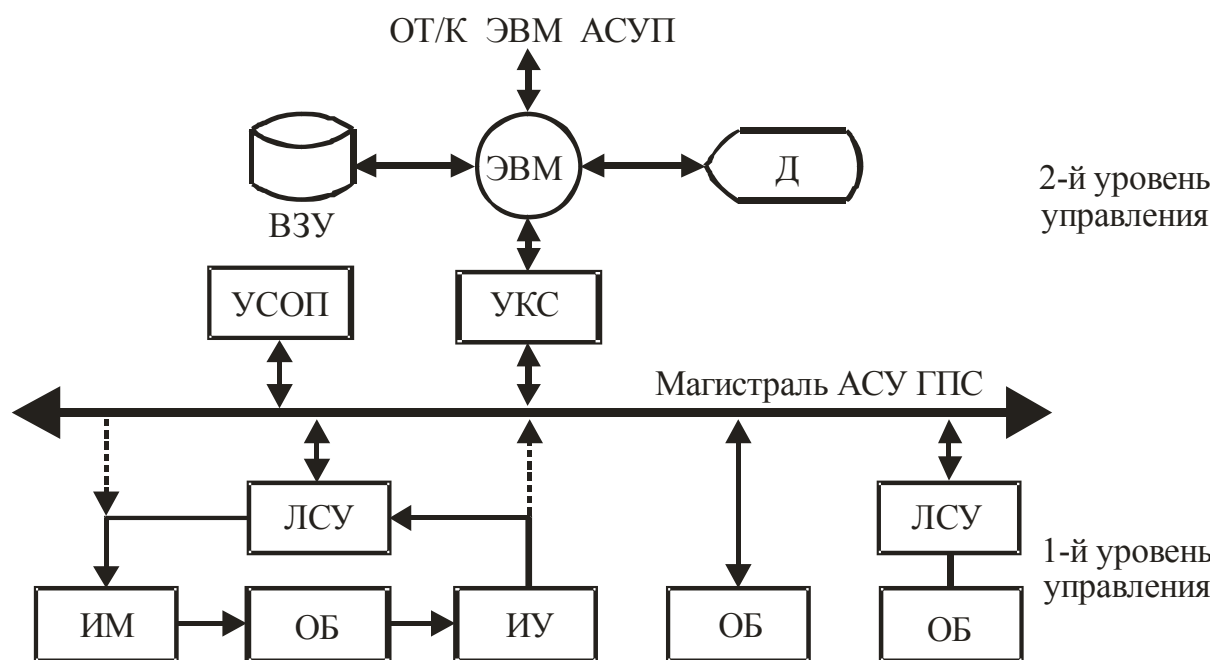


Рис. 204. Структура АСУ ГПС

Структура двухуровневой АСУ ГПС показана на рис. 204. В состав системы входят следующие устройства: ВЗУ – внешнее запоминающее устройство; Д – дисплей; УКС – устройства каналов связи; ЛСУ – локальная система управления; ОБ – объект управления (включен условно); ИМ – исполнительный механизм; ИУ – измерительное устройство, УСОП – специализированные устройства для связи с оперативным персоналом (операторами и технологами).

Центральная ЭВМ оснащена внешней памятью ВЗУ для хранения информации и программного обеспечения и дисплеем Д для связи с оперативным персоналом. Центральная ЭВМ связана с локальными системами управления ЛСУ и объектами управления ОБ (объекты управления не входят в состав комплекса технических средств АСУ ТП и показаны на схеме условно). Для связи используются соответствующие технические средства УКС, создающие каналы связи для передачи информации.

Передача информации осуществляется в информационной магистрали АСУ ГПС, к которой подключены ЛСУ. При этом

исполнительный механизм ИМ преобразует управляющие команды в необходимые физические управляющие воздействия на объект управления ОБ, а измерительное устройство ИУ контролирует состояние объекта управления. С центральной ЭВМ ЛСУ обменивается управляющими программами, командами запуска и останова, информацией о выполнении рабочего цикла, диагностической информацией и др.

В отдельных случаях возможно прямое управление оборудованием от ЭВМ. В этом случае ЛСУ отсутствует, а ЭВМ взаимодействует с ИУ и ИМ, получая информацию о состоянии объекта управления и выдавая необходимые управляющие команды (режим прямого управления от ЭВМ). При этом рабочий цикл объекта обеспечивается ЭВМ и существенно возрастает информационный поток между ЭВМ и объектом.

Локальными системами управления в ГПС являются системы ЧПУ, программируемые микроконтроллеры, интеллектуальные регуляторы, интеллектуальные электроприводы переменного и постоянного тока и интеллектуальные измерительные устройства.

Объединение ЛСУ и организация их взаимодействия осуществляется с помощью центральной ЭВМ. Эта ЭВМ образует верхний уровень в двухуровневой системе управления. Для управления сложной ГПС могут использоваться промежуточные уровни и большее число ЭВМ.

Реализация иерархической АСУ ГПС с использованием различных средств вычислительной и управляющей техники показана на рис. 205. Центральная ЭВМ имеет необходимые объемы внешней постоянной памяти (ВЗУ) и средства связи с оперативным персоналом (дисплей). Эта ЭВМ может быть соединена с ЭВМ более высокого уровня или входить в состав локальной вычислительной сети (ЛВС).

К системной шине ЭВМ с помощью интерфейсных устройств (устройства сопряжения с объектом УСО, адаптеры) могут подключаться:

- локальные системы управления ЛСУ, управляющие объектами ОБ;
- исполнительные механизмы ИМ и датчики Д объекта ОБ при прямом управлении объектом от ЭВМ;
- программируемые микроконтроллеры МК, которые имеют собственную шину (помечено звездочками);
- промышленные контроллеры ПК и микроЭВМ.

Промышленные микроконтроллеры ПК и микроЭВМ образуют промежуточный уровень иерархии в системе управления. С помощью интерфейсных модулей ввода-вывода к ним могут присоединяться объекты ОБ для прямого управления. Однако в современных системах управления все большее распространение получают различные сети для обмена информацией и управления.

С помощью специальных адаптеров (адаптер УВВ, сканер) ПК может образовать сеть удаленного ввода-вывода (Remote I/O), позволяющую ему обмениваться информацией с такими удаленными источниками и приемниками информации как:

- интеллектуальные приводы ПР;
- устройства вывода аналоговых сигналов ВА;
- устройства приема аналоговых сигналов ПА;
- устройства вывода дискретных сигналов ВД;
- устройства приема дискретных сигналов ПД.

К сети удаленного ввода-вывода с помощью адаптеров могут подключаться микроконтроллеры МК. Через сеть удаленного ввода-вывода промышленный контроллер МК может непосредственно управлять значительным числом удаленных объектов, а также управлять работой удаленных микроконтроллеров МК.

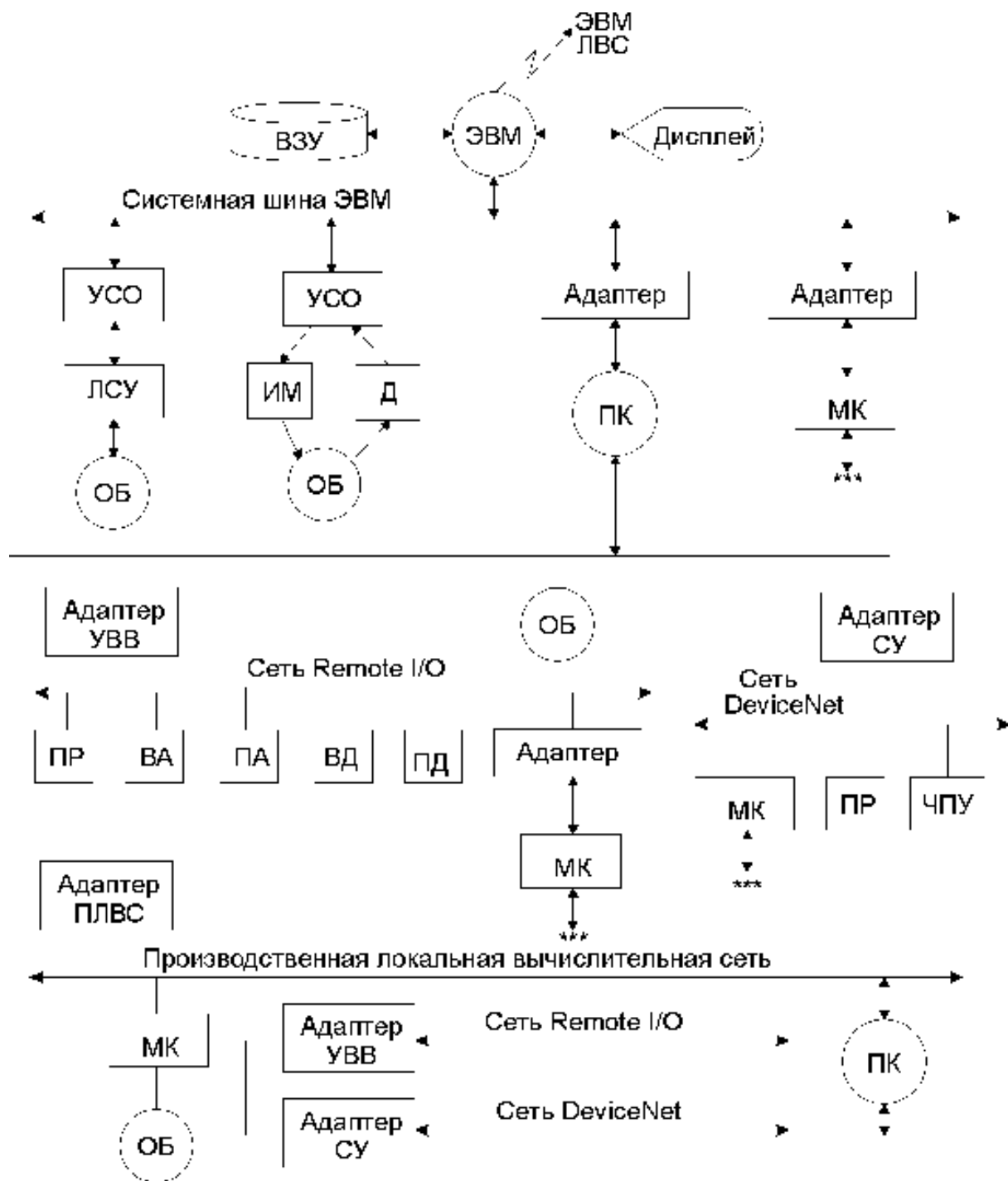


Рис. 205. Система управления ГПС

Адаптер сети устройств (адаптер СУ) позволяет создать локальную сеть управления устройствами (сеть DeviceNet). Посредством этой сети осуществляется управление различными ЛСУ (интеллектуальными приводами, ЧПУ и другими).

Промышленный микроконтроллер может входить в локальную производственную вычислительную сеть (ПЛВС), используемую в целях управления технологическими объектами и процессами. Через эту сеть ПК взаимодействует с другими ПК, микроконтроллерами МК, обеспечивая координацию управления в системе. В свою очередь, каждый ПК и МК, входящий в ПЛВС, может формировать свои сети удаленного ввода-вывода и управления устройствами.

Как системная шина ЭВМ, так и все сети являются открытыми. Это позволяет увеличивать количество устройств управления в системе, наращивая возможности управления сложными объектами и процессами.

8.3 Математическое обеспечение АСУ ПС

Математическое обеспечение необходимо для формализации процессов управления (с целью их автоматизации) и реализации алгоритмов управления на ЭВМ. Математическое описание в общем случае включает:

- *0 формализованные описания объектов и процессов управления;
- *1 алгоритмы решения задач управления;
- *2 программное обеспечение средств вычислительной техники, используемой на всех уровнях управления.

Процесс формализованного описания позволяет получить общее описание объекта управления и процесса управления в виде формализованных математических моделей. На базе этих моделей разрабатываются алгоритмы управления.

Алгоритмы управления определяют необходимую последовательность действий при управлении и позволяют формализовать описание процесса управления с целью автоматического его осуществления. Алгоритм является основой для разработки программы управления соответствующим объектом от ЭВМ.

Программное обеспечение (ПО) необходимо для реализации алгоритмов управления на конкретных ЭВМ, входящих в состав АСУ ГПС. Под управлением ПО обеспечивается взаимодействие ЭВМ с оперативным персоналом и оборудованием в процессе управления.

Например, при автоматическом регулировании параметров объекта управления, система управления реализует функции автоматического регулятора:

$$x(t) = y_3(t) - y(t);$$

$$U(t) = A \{x(t)\},$$

где $x(t)$ – ошибка объекта управления; $y_3(t)$ – заданное значение управляемого параметра, $y(t)$ – текущее значение управляемого параметра; $U(t)$ – управляющее воздействие; A – оператор, зависящий от закона регулирования.

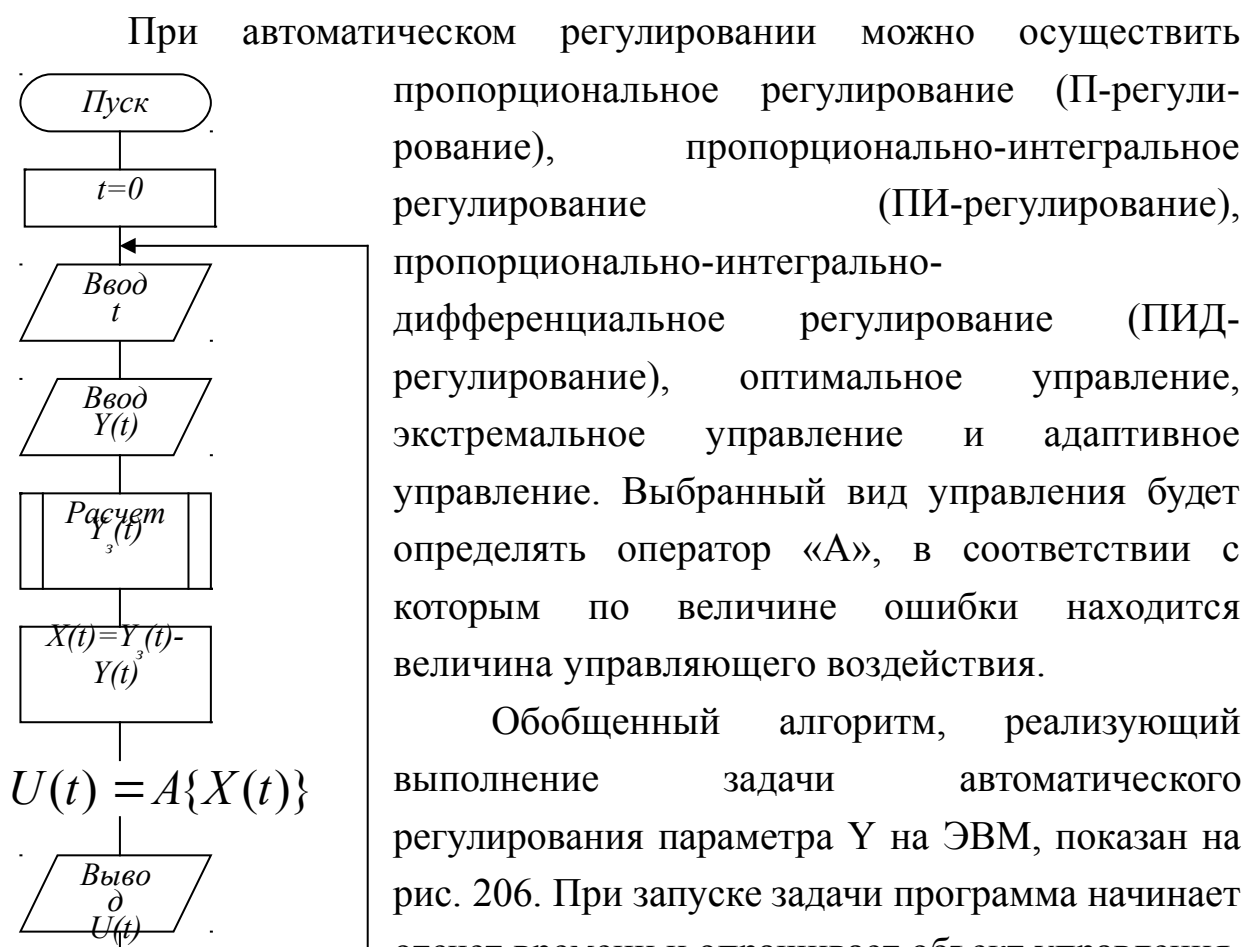


Рис. 206. Алгоритм регулирования

Обобщенный алгоритм, реализующий выполнение задачи автоматического регулирования параметра Y на ЭВМ, показан на рис. 206. При запуске задачи программа начинает отсчет времени и опрашивает объект управления. В результате опроса объекта происходит ввод текущего значения управляемого параметра $Y(t)$.

Текущее значение управляемого параметра сравнивается с заданным и определяется рассогласование (ошибка), по величине которого вычисляется необходимая величина управления. Это управление выводится из ЭВМ и, воздействуя на исполнительный механизм объекта, изменяет его выходной параметр нужным образом.

Описанный алгоритм реализуется в виде управляющей программы для ЭВМ. В качестве ЭВМ в рассматриваемом случае может выступать, например, программируемый микроконтроллер. В этом случае программу можно написать на ассемблере используемого в микроконтроллере микропроцессора. Затем программа транслируется в машинные команды микропроцессора, последовательность которых записывается в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) микроконтроллера.

Разработка программного обеспечения на машинных и алгоритмических языках программирования требует привлечения для решения задач специалистов-программистов, хотя лучше всего понимают задачу управления специалисты-технологи и управленцы. В результате возникла необходимость в разработке таких автоматизированных систем проектирования программного обеспечения, с которыми могли бы работать пользователи, не являющиеся специалистами в области программирования ЭВМ.

Такие системы рассматриваются как инструмент для разработки программного обеспечения АСУ ТП. В современных АСУ ТП взаимодействие между оператором и технологическим процессом осуществляется с помощью программного обеспечения, получившего общее название SCADA. SCADA-система (Supervisory Control And Data Acquisition System) – система сбора данных и оперативного диспетчерского управления. SCADA-система выполняет следующие основные функции:

- контроль параметров и сбор данных о контролируемом технологическом процессе;

- управление технологическим процессом, реализуемое операторами на основе собранных данных и правил (критериев), выполнение которых обеспечивает требуемую эффективность и безопасность процесса.

SCADA-система автоматизирует сбор информации о технологическом процессе, обеспечивает интерфейс оператора, сохраняет историю процесса и осуществляет автоматическое управление процессом в необходимом объеме.

Инструментальные SCADA-системы являются инструментом для разработки программного обеспечения верхнего уровня АСУ ТП. SCADA-система часто имеет встроенную поддержку устройств ввода-вывода: управляющих контроллеров, датчиков и измерительных устройств, производимых ведущими мировыми фирмами для систем управления и сбора информации. Инструментальные SCADA-системы являются программным продуктом различных фирм, имея как много общих черт, так и существенные отличия.

8.4 Примеры управления производственными системами

Управление комплексом АЛП-3. Для управления гибким автоматизированным комплексом АЛП-3, предназначенным для механической обработки корпусных деталей, используется автоматизированная система управления с управляющей ЭВМ. ЭВМ имеет два накопителя на магнитных дисках, устройства ввода-вывода на различные носители информации, печатающие устройства, станцию индикации данных (дисплей).

Для связи с объектами управления и оперативным персоналом к ЭВМ через устройства сопряжения с объектом (УСО) присоединены: локальные пульта управления для операторов рабочих позиций;

датчики считывания кодов спутников; датчики считывания кодов инструмента.

Программное обеспечение системы управления включает системное программное обеспечение управляющей ЭВМ (операционная система, система программирования и др.) и прикладной программный комплекс.

Прикладной программный комплекс разбит на головную управляющую программу и 11 программных подсистем. Головная управляющая программа обеспечивает взаимодействие всех программных подсистем и выполняет в системе управления диспетчерские функции. Каждая программная подсистема решает определенную задачу управления или выполняет необходимую для управления вспомогательную функцию.

Программные подсистемы решают следующие задачи:

- процесс запуска комплекса в работу;
- защита и восстановление информационной модели системы;
- управление металлообрабатывающими станками комплекса (две подсистемы);
- управление транспортными потоками;
- формирование информационных массивов для подсистем управления станками;
- управление инструментальным обеспечением комплекса (две подсистемы);
- плановый останов комплекса;
- взаимодействие с контрольно-измерительной позицией комплекса (позиция обслуживается оператором);
- ввод, хранение и редактирование управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

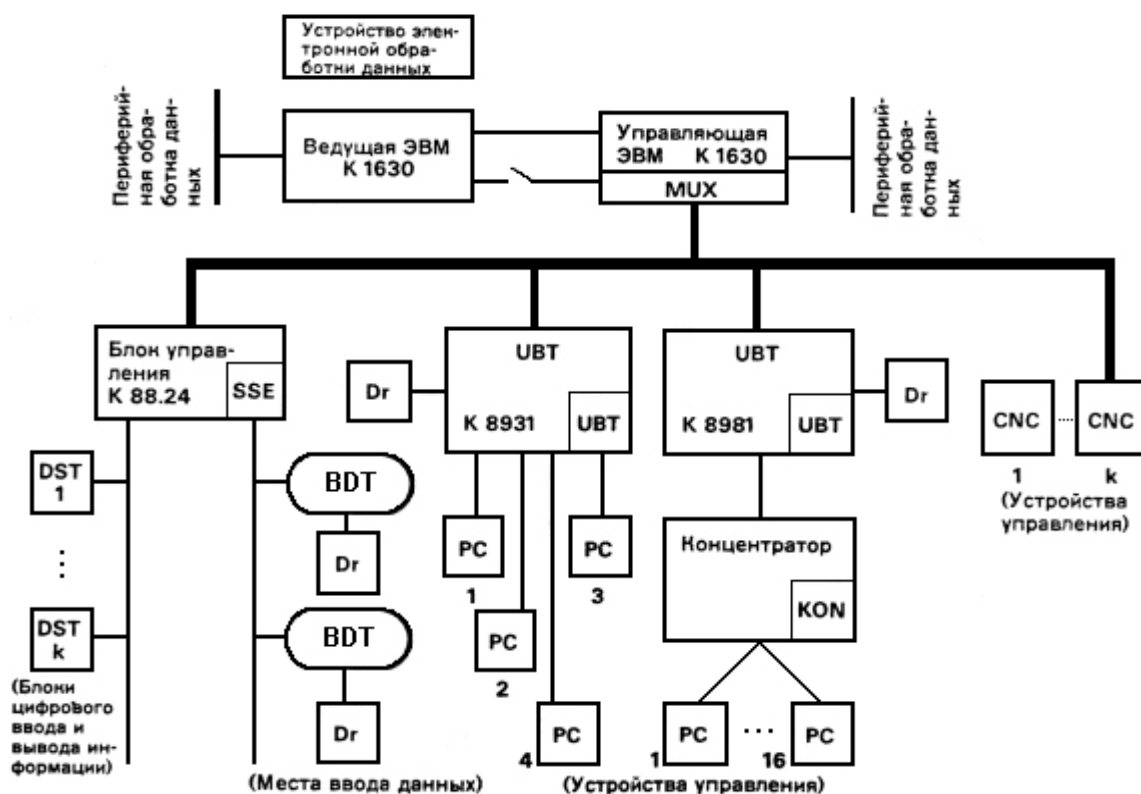


Рис. 207. Система управления ГПС

Система управления обеспечивает следующие режимы работы комплекса: запуск в работу, рабочий режим, наладочный режим, режим планового останова.

Модульная система управления для механообрабатывающих ГПС. Модульная структура управляющих комплексов обеспечивает прозрачность и возможность модификации в соответствии со спецификой производства. Многочисленность различных задач управления, выполняемых на разных уровнях, требует весьма гибкой и иерархически структурированной системы управления ГПС. На рис. 207 показана структура управляющей системы, основанной на базовой системе ЭВМ «Роботрон А 6402» и информационной системе «Роботрон А 6422 с интерфейсом «MUX К 8523 для подключения устройств ЧПУ.

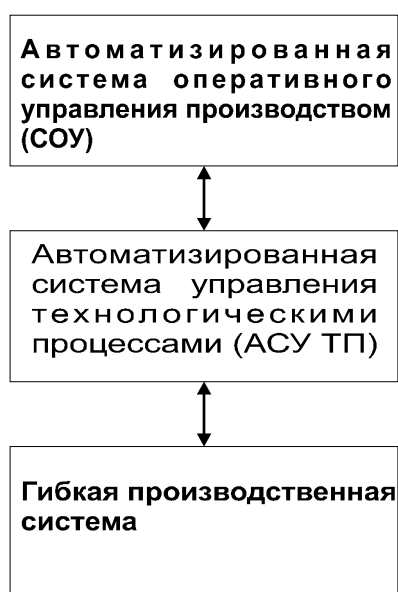
Система управления включает две взаимодействующие ЭВМ. Эти ЭВМ за счет мультиплексоров связаны с микроЭВМ,

обладающими собственными внешними устройствами и памятью. Каждая из микроЭВМ является автономной подсистемой.

При разработке общей концепции системы управления учтен аспект перехода к локальным сетям с распределенными микроЭВМ.

Управление в химическом производстве. Гибкие производственные системы находят применение в различных отраслях. Так в химической промышленности получают распространение гибкие автоматизированные производственные системы (ГАПС) химико-технологического назначения. Функционирование каждой подсистемы ГАПС осуществляется при помощи локальных систем управления, реализуемых на базе микроЭВМ.

Координацию функционирования отдельных подсистем ГАПС выполняет ЭВМ более высокого уровня, информационное взаимодействие которой с локальными системами осуществляется через мультиплексор передачи данных. Мини-ЭВМ снабжена банком данных, к ней организован доступ оператора ГАПС. С ЭВМ связан пульт ремонтника. В качестве терминальных устройств используются видеотерминалы, печатающие устройства и другие устройства ввода-вывода информации.



Информационно-управляющая система ГАПС имеет иерархическую структуру и образована рядом подсистем. Нижние уровни информационно-управляющей системы представлены автоматизированной системой управления технологическими процессами (АСУ ТП), а верхние – системой оперативного управления производством (СОУ).

Непосредственное управление технологическим процессом химико-технологической системы (ХТС) осуществляет

Рис. 208. АСУ ХТС

АСУ ТП. Эта система решает ряд задач управления, которые образуют свою иерархию (рис. 208). Нижний уровень АСУ ТП представлен подсистемами информационного контроля и автоматического регулирования режимных параметров технологических процессов.

Второй уровень управления образуют задачи управления сменой функциональных состояний технологических аппаратов периодического действия (задача циклового управления).

Верхний уровень задач АСУ ТП представляют задачи управления взаимодействием технологических аппаратов и материальными потоками (например, транспортированием реакционной массы из одних аппаратов в другие).

Автоматическое регулирование режимных параметров реализуется на ЭВМ с использованием классических законов ПИ- или ПИД-регулирования. Требуемый закон формируется программно из типовых программных модулей.

Такие операции, как выход на рабочий режим или выход из рабочего режима (например, нагрев до рабочей температуры) за минимальное время управляются с использованием релейного (двухпозиционного) закона регулирования, оптимизированного на основе принципа максимума Л. С. Понтрягина.

Управление в шинной промышленности. Системы управления технологическими процессами на шинных и резинотехнических предприятиях строятся с использованием изложенных принципов и реализуются как на базе дискретной автоматики, так и с применением ЭВМ.

Система управления типа СУРД используется на производствах резинотехнических изделий и служит для автоматизированного управления поточными линиями приготовления резиновых смесей. Она состоит из стойки блоков, пульта управления резиносмесителем, щита с мнемосхемой, пультов местного управления резиносмесителями и дозаторами.

Техническая характеристика системы:

- общее число весовых дозаторов – до 12;
- общее число навесок из весовых дозаторов – до 56;
- число питателей на одном дозаторе – до 6;
- питатели обеспечивают две скорости дозирования для грубой и точной дозировки;
- величина уставки для отключения питателя грубого дозирования составляет 6, 8, 10, 12 %;
- величина уставки для отключения точного питателя с учётом компенсации запаздывания падающего материала – от 0 до 3 % от максимального веса.

Задание программы предусмотрено как с помощью перфокарты, так и с помощью штекерных коммутаторов. Выполнена СУРД на слаботочных малогабаритных реле, смонтированных в виде блоков. Блоки располагаются в стойке, что позволяет легко их снимать и заменять.

В качестве датчиков веса используются бесконтактные сельсины. Цикл подготовки ингредиентов заключается во взвешивании их по заданным рецептам и выдачи ингредиентов в промежуточные сборные ёмкости и производится параллельно с циклом смешения предыдущей группы ингредиентов и заканчивается до начала следующего цикла.

Наличие двух коммутаторов позволяет заранее набрать программу в случае замены смеси и начать цикл подготовки компонентов по новой программе за то же время смешения, которое было запрограммировано в старом варианте. Система предусматривает возможность переключения любого механизма поточной линии на локальный режим управления.

Система управления типа САД обеспечивает управление дозированием ингредиентов и каучуков и применяется на многих шинных заводах для управления работой технологического оборудования поточных линий, начиная от расходных бункеров смесительного отделения и кончая выходом готовых смесей.

Техническая характеристика системы:

- число весовых дозаторов – 12;
- на мнемонических схемах в помещении оператора отображается состояние всех элементов технологического процесса.

При аварии загораются соответствующие индикаторы.

- длительность минимального цикла навески – 1,5 мин;
- общее число сыпучих и жидких ингредиентов – до 40;
- число питателей для одних весов – до 5;
- точность дозирования – $\pm 0,5 \%$ от предела измерения весов;
- дискретность задания веса – 0,2 %;
- автоматическое управление весами-дозаторами с компенсацией запаздывания падающего материала – до 6 %.

Установка обеспечивает автоматический выбор материала в соответствии с заданным рецептом смеси, возможность управления питателями, имеющими одну или две скорости, и возможности двукратных навесок на одних весах. Программа работы системы САД задается на перфокарте или с помощью штекерного коммутатора.

Система САД выполнена на логических бесконтактных элементах, собранных в легкосъёмные блоки, а релейно-контактную аппаратуру система использует только в силовых цепях (внешние цепи для управления исполнительными механизмами).

Основные функции САД:

- программное управление процессами автоматического дозирования компонентов смесей;

- программное управление процессами полуавтоматического дозирования компонентов, не пригодных для автоматической дозировки, с автоматическим контролем и сигнализацией каждой промежуточной навески;

- программирование числа комплексных навесок с автоматическим отсчетом каждой выданной навески и возможность ручного ввода поправок;

- обеспечение возможности автоматической смены перфокарт после отработки заданного числа комплексных навесок;

- автоматический выбор материала (питателя) в соответствии с заданной рецептурой смеси;

- обеспечение возможности автоматического управления весами с компенсацией запаздывания падающего материала при дозировании;

- программирование процессов разгрузки между отдельными технологическими операциями и временных интервалов;

- обеспечение возможности визуального наблюдения за ходом технологических процессов с помощью мнемосхемы.

Обе системы в значительной степени морально устарели и служат примером развития подхода к проектированию автоматизированных систем управления технологическими процессами шинной промышленности. В современных условиях системы автоматизированного управления строятся с использованием ЭВМ.

Системы управления на основе ЭВМ предназначены для контроля, регулирования и циклового управления операциями технологического процесса приготовления резиновых смесей. К таким операциям относятся:

- дозирование каучуков и ингредиентов к смесительным агрегатам;

- контроль и указание порции ингредиентов, дозируемых вручную;
- загрузка каучука и других функций.

Рецептура резиновых смесей кодируется и записывается на сменный программноноситель (например, на перфоленту). Для настройки ЭВМ на заданную программу работы в оперативную память машины вводят требуемый рецепт и необходимые уставки. Последние вводятся оператором с помощью телетайпа. В устройстве оперативной памяти ЭВМ одновременно хранятся два рецепта: рецепт приготавливаемой резиновой смеси и рецепт следующей смеси, которая должна готовиться на очередном этапе процесса.

Управляемое оборудование оснащено необходимыми датчиками (например, датчиками веса) и исполнительными механизмами. При дозировании материала на автоматических весах решается задача автоматического регулирования массы навески. В этом случае датчик веса замыкает обратную связь контура регулирования, выдавая информацию о текущем значении массы дозируемого материала. Уставка для требуемой массы навески хранится в оперативной памяти ЭВМ.

Благодаря высокой скорости работы ЭВМ, одна ЭВМ в состоянии обслужить все автоматические весы, установленные в цехе. Продолжительность сканирования для каждого веса составляет несколько микросекунд.

Система с управляющей ЭВМ обеспечивает:

- автоматический режим дозирования компонентов;
- контроль уровня материалов в расходных ёмкостях;
- оперативную смену рецептов смеси и режимов смешения;
- автоматический контроль потребляемой мощности в процессе смешения и контроль температуры смеси;
- автоматическую выгрузку готовой смеси;

- сигнализацию отклонений от нормальных параметров в процессе дозирования и смешения;
- регулирование частоты вращения рабочих органов.

Применение ЭВМ весьма эффективно вследствие высокого быстродействия, наличия памяти для одновременного хранения нескольких рецептов и соответствующих программ режимов их приготовления.

Автоматизированная система управления технологическим процессом изготовления резиновых смесей имеет двухуровневую иерархическую архитектуру. Нижний уровень образует АСУ ТП технологических участков: резиносмешения, централизованной развески химикатов, склада технического углерода. Нижний уровень выполнен на базе управляющего вычислительного комплекса УВК типа СМ1634, который устанавливается в специальном помещении.

Для управления каждым технологическим участком устанавливается отдельный терминал ТВСО-1 (в составе УВК СМ1634). Каждый терминал (технологический комплекс) представляет собой две приборных стойки и отдельно стоящие дисплей и печатающее устройство. В нижней части стоек находятся кроссовые панели с клеммными колодками для подключения кабелей от внешних устройств.

Верхний уровень (организационно-технологическое управление) представлен персональной ЭВМ, связанной с УВК. В свою очередь ПЭВМ второго уровня связана с верхним уровнем (организационно-технологическое управление в масштабах завода).

С появлением программируемых контроллеров появилась возможность децентрализации управления технологическим процессом. Контроллер берёт на себя управление каждым технологическим участком и устанавливается в непосредственной близости от технологического оборудования (нижний уровень). В

результате отпадает необходимость в специальном помещении для ЭВМ и в многочисленных кабельных соединениях.

Таким образом, переход от единого УВК к децентрализации управления технологическим процессом за счёт применения современных ПЭВМ, позволяет значительно уменьшить затраты на изготовление и монтаж таких систем с одновременным увеличением их надёжности и функциональных возможностей.

АСУ ТП спиртового производства. Примером современного подхода к решению задачи автоматизации управления технологическим процессом может служить показанная на рис. 209 АСУ ТП спиртового цеха. АСУ ТП спиртового цеха состоит из трех уровней: уровень управления оборудованием (нижний уровень), уровень оперативного управления и административный уровень.

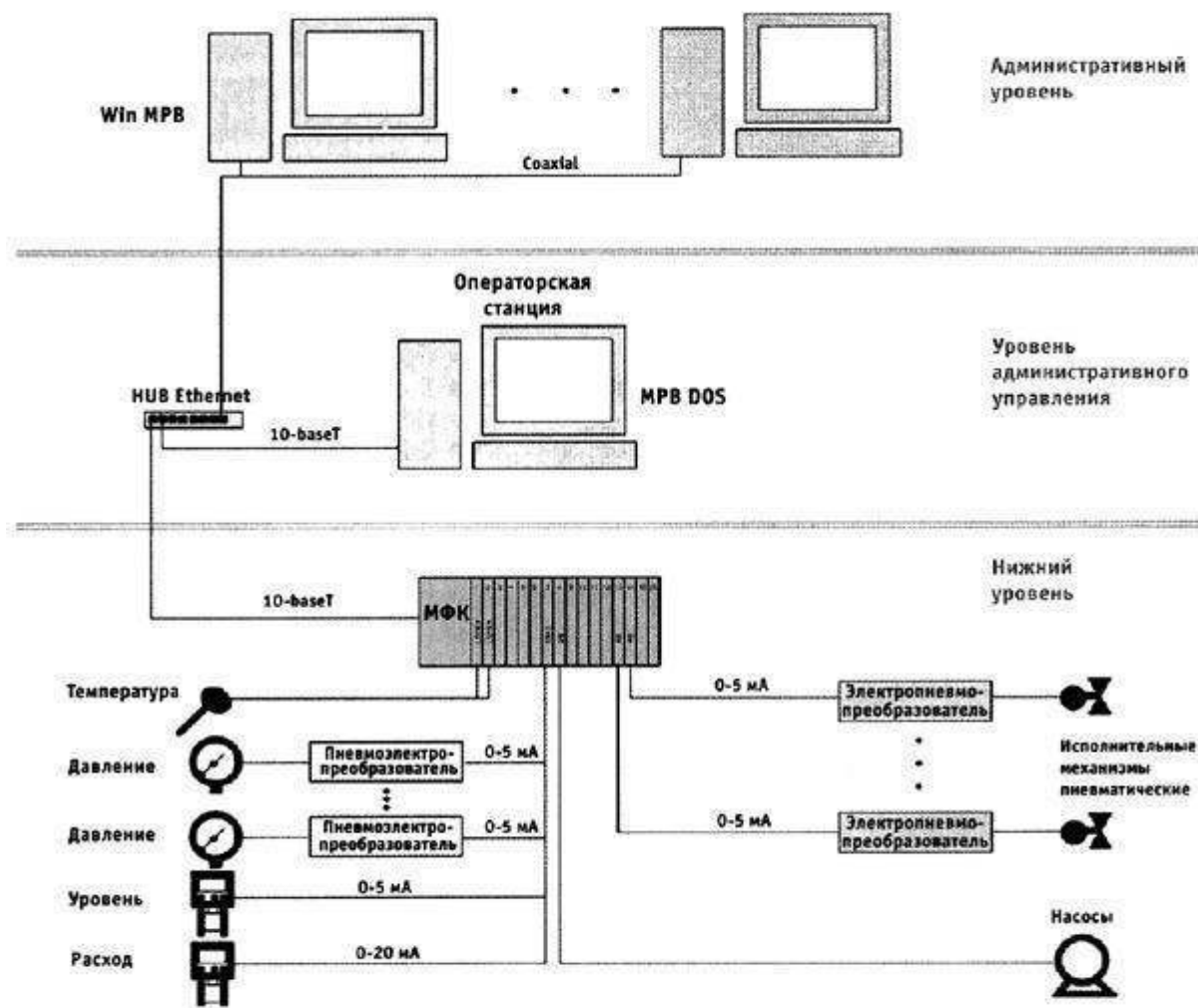


Рис. 209. АСУ ТП спиртового производства

На уровне управления оборудованием использован промышленный контроллер МФК фирмы Текон. На верхних уровнях применены IBM – совместимые персональные компьютеры.

Промышленный контроллер непосредственно взаимодействует с управляемым оборудованием и имеет следующие модули ввода-вывода:

- 2 аналоговых модуля ввода сигналов термосопротивлений;
- 2 аналоговых модуля ввода-вывода;
- 1 аналоговый модуль ввода;
- 1 дискретный модуль ввода-вывода;
- модуль локальной сети Ethernet.

Компьютеры и промышленный контроллер объединены в локальную вычислительную сеть. Однако контроллер может функционировать и автономно. Предусмотрено сохранение данных о текущем режиме работы системы и «безударный» перезапуск контроллера в случае кратковременной остановки.

Контроллер воспринимает сигналы от термосопротивлений, пневмоэлектрических преобразователей и дискретных датчиков. В результате обработки этих сигналов выдаются команды на приводы задвижек (используется ПИД-регулирование).

На уровне оперативного управления осуществляется контроль хода процесса оператором, изменение уставок регулирования, распечатка сменного рапорта. Административный уровень предусматривает выдачу сведений о ходе процесса и архивных сведений администрации.

Программное обеспечение системы управления разработано и поддерживается с помощью инструментальной SCADA-системы Trace Mode российской фирмы AdAstra.

Системы управления ГПС фирмы Ситроен для обработки корпусных деталей с размерами до 500×500×500 мм при объеме партии 15–80 деталей (структурная схема приведена на рис. 210). В состав ГПС входят два обрабатывающих центра с цепными магазинами на 50 инструментов, четыре автоматических транспортных тележки с индуктивным управлением, автоматизированный склад, координатную измерительную машину, моечную машину и промышленный робот.

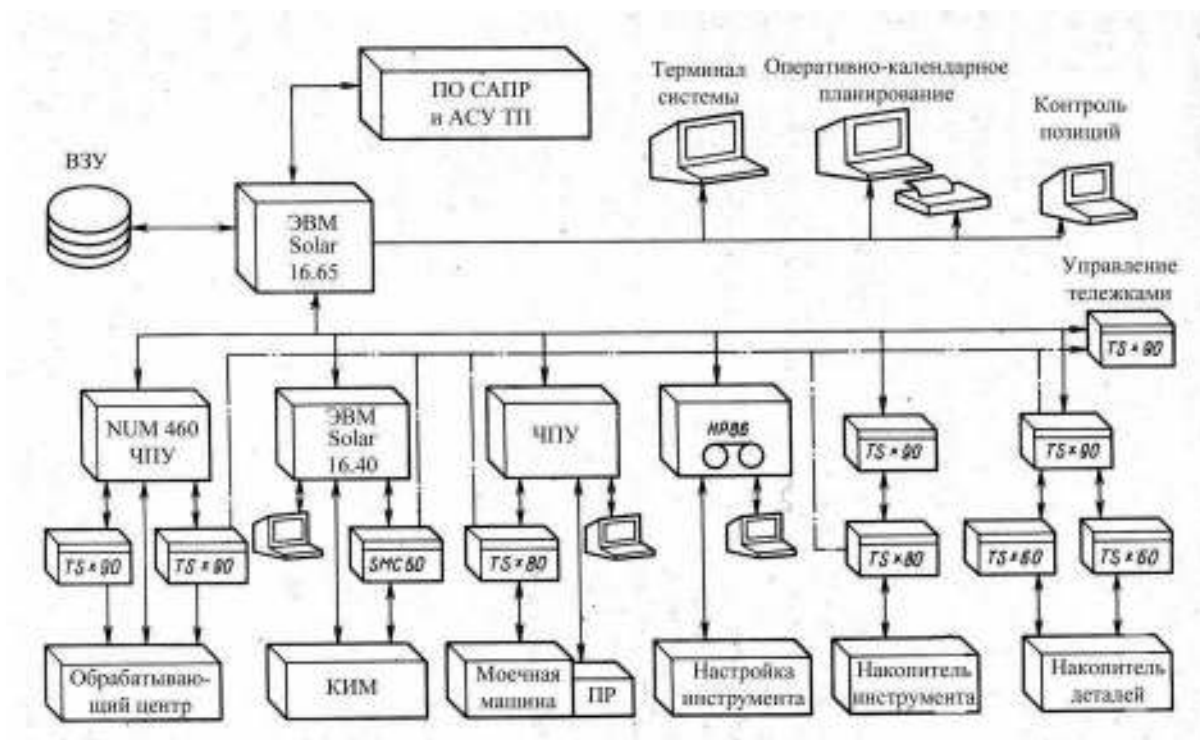


Рис. 210. Система управления ГПС фирмы Ситроен

Система управления является иерархической и включает две ЭВМ типа Solar. Постоянно используется одна ЭВМ, вторая предназначена для расширения системы и на случай отказа первой ЭВМ.

8.5 Распределенные системы управления Allen-Bradley

Фирма Allen-Bradley разработала комплекс управляющих устройств разного уровня для построения сложных иерархических систем управления. В такие системы легко интегрируются управляющее оборудование и компьютеры других фирм.

Важнейшим условием функционирования управляющего комплекса является наличие эффективной системы обмена информацией между всеми компонентами управляющего комплекса.

Для этой цели широкое распространение получили промышленные локальные вычислительные сети.

Фирма использует ряд стандартов промышленных ЛВС для решения различных задач управления. Наряду с этим предусмотрена и возможность использования в системе управления общего стандарта ЛВС – Ethernet. Для поддержки всех этих видов сетей разработано соответствующее программное и аппаратное обеспечение.

Важное значение при создании сложной управляющей системы имеет программное обеспечение. Разработка прикладного программного обеспечения не должна требовать больших усилий и специальных знаний языков программирования от пользователя. Для обеспечения эффективного программирования используются инструментальные SCADA – системы и программные средства автоматизации программирования контроллеров и других управляющих устройств.

Обобщенная функциональная схема построения сложной управляющей системы для технологических процессов и оборудования производственного назначения показана на рис. 211. В общем случае система управления может включать:

- компьютеры, серверы и рабочие станции разных фирм,
- промышленные компьютеры,
- программируемые микроконтроллеры различного уровня,
- устройства удаленного доступа к данным,
- средства визуализации информации,
- интеллектуальные приводы,
- интеллектуальные датчики и измерительные устройства,
- локальные сети и устройства межсетевых связей,
- программное обеспечение.

В системе управления могут использоваться все наиболее распространенные на производстве компьютеры фирм: Digital Equipment Corp. (DEC), Hewlett-Packard Corp. (HP), International Business Ma-

chines (IBM) и др. Для этих компьютеров создано программное обеспечение (INTER-CHANGE Rockwell Software), позволяющее им взаимодействовать со средствами управления Allen-Bradley. В системе могут работать компьютеры различного исполнения, включая ноутбуки и промышленные компьютеры.

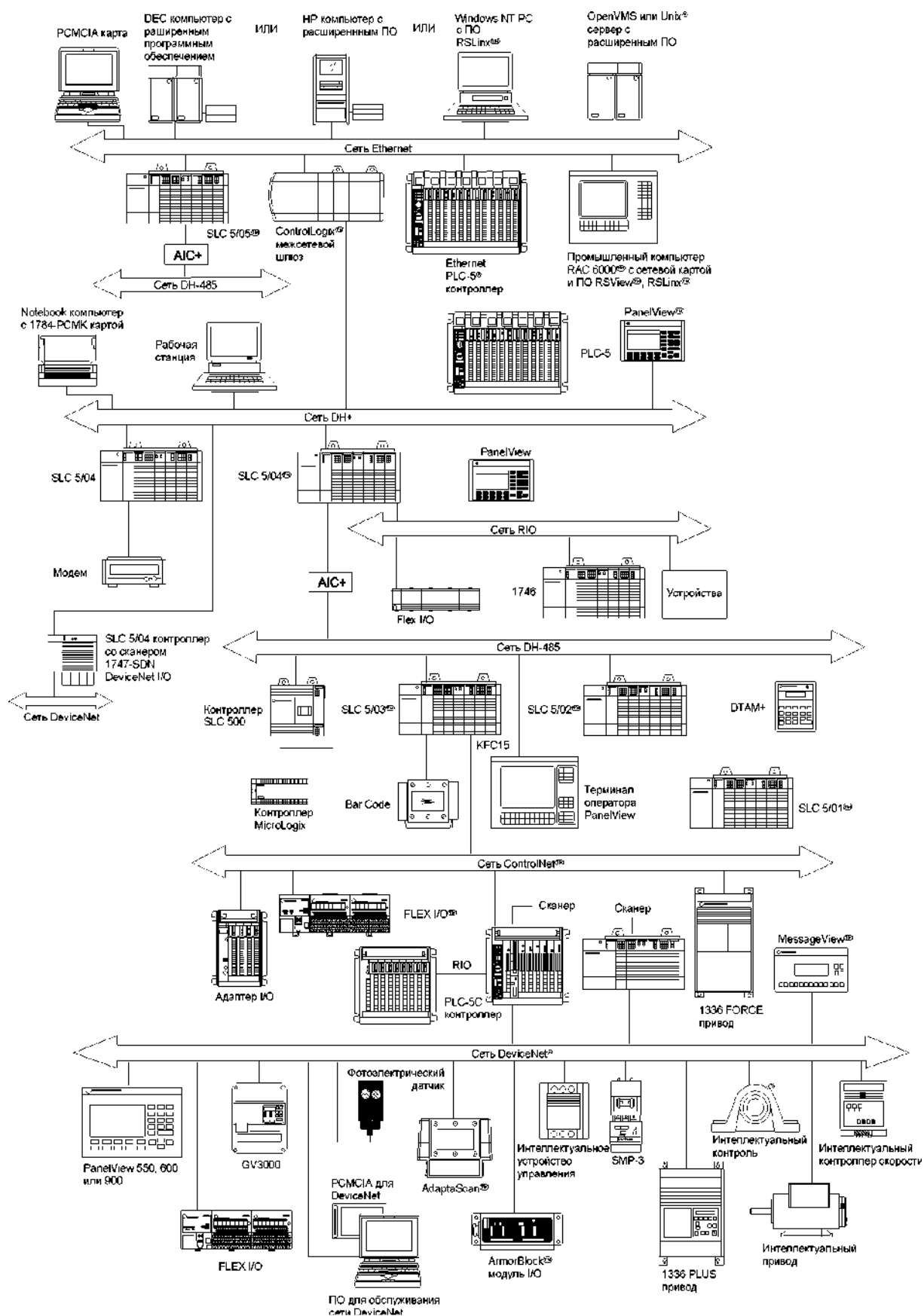


Рис. 211. Распределенная система управления Allen-Bradley

Для решения задач управления производственным оборудованием и технологическими процессами разработана широкая гамма программируемых микроконтроллеров различного назначения. Все эти контроллеры совместимы при решении задач управления. Они могут иметь как постоянную, так и изменяемую конфигурацию (модульные контроллеры). Имеют развитые средства ввода-вывода информации для взаимодействия с самыми разными объектами управления и источниками информации. Имеют развитое программное обеспечение и средства программирования.

8.6 Интегрированные системы проектирования и управления

Интеграция систем автоматизации инженерного труда и управления приводит к расширению функциональных возможностей таких систем и к появлению систем двойного назначения, которые объединяют функции проектирования продукции и разработки технологии её изготовления. В механообработке результатом функционирования интегрированной системы САПР+САП будет комплекс управляющих программ для станков с ЧПУ, создаваемый в процессе конструирования детали.

В семидесятых годах прошлого столетия развитие систем автоматизации инженерного труда привело к созданию интегрированных автоматизированных производственных систем CAD/CAM (САПР/АПП). Этой аббревиатурой принято обозначать область деятельности, связанной с созданием и применением систем автоматизированного проектирования и автоматизированного производства. САПР/АПП – система автоматизированного проектирования/автоматизации производственных процессов.



Рис. 212. Применение интегрированной САПР/АПП

Схема использования интегрированной САПР/АПП приведена на рис. 212. Группа высококвалифицированных специалистов, владеющих методами проектирования изделий и технологий, с помощью интегрированной системы разрабатывает как само изделие, так и технологию его изготовления. В автоматизированном производстве результатом проектирования технологии будет пакет управляющих программ для оборудования с ЧПУ и программное обеспечение ПО для АСУ ТП.

В соответствие с календарным планом выпуска изделий ПО передаётся в АСУ ТП и обеспечивает автоматизированную настройку производственного подразделения (ГПМ, ГПС) на изготовление требуемой продукции. Функционирование производственного подразделения под управлением АСУ ТП с установленным ПО обеспечивает выпуск нужных изделий в требуемом количестве. При этом обеспечивается интеграция ранее независимых процессов проектирования продукции и её изготовления в автоматизированном производстве.



Рис. 213. Структура технологического процесса

Технологический процесс обычно состоит из многих технологических операций, выполняемых на разном оборудовании. Поэтому вначале разрабатывается маршрутный технологический процесс, а затем разрабатываются операционные технологии. Структура технологического процесса показана на рис. 213.

При разработке технологического маршрута определяется последовательность операций, выбирается технологическое оборудование, оценивается трудоемкость операций. Для реализации технологического маршрута необходимо программное обеспечение для АСУ ТП.

Разработка операционных технологий предусматривает детальное описание каждой технологической операции, выполняемой на конкретной единице технологического оборудования. Каждая операция делится на элементарные переходы. Каждый переход характеризуется обрабатываемым элементом изделия (обрабатываемая поверхность детали), используемым для обработки инструментом и оснасткой, а также параметрами обработки (технологическими режимами).

Реализация операционных технологий осуществляется на оборудовании с ЧПУ при помощи управляющих программ для УЧПУ, которые необходимо разрабатывать.

В многономенклатурном производстве для изготовления продукции используются станки и другое оборудование с ЧПУ. Следовательно, технологический маршрут должен быть реализован в виде комплекса управляющих программ для оборудования с ЧПУ и общей программы управления технологическим маршрутом для АСУ ТП. Разработка программного обеспечения входит в технологическую подготовку производства. При реализации технологического процесса изготовления изделия в ГПС необходимо обеспечить управление рабочими циклами основного и вспомогательного оборудования технологического процесса, а также осуществить управление для согласования этих рабочих циклов во времени с целью обеспечения требуемого хода процесса (выполнить диспетчерское управление процессом).

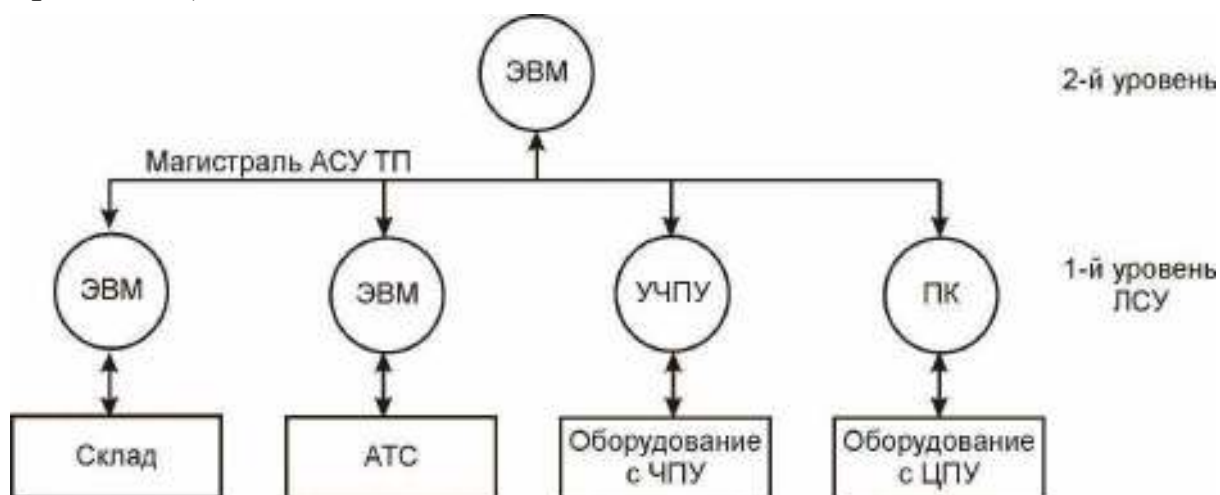


Рис. 214. Структура АСУ ТП

Управление рабочим циклом оборудования с ЧПУ осуществляется с помощью управляющей программы (УП) ЧПУ. Управление технологическим маршрутом изготовления изделия осуществляется с помощью программы диспетчерского управления,

реализуемой на верхнем уровне АСУ ТП. Общая структура АСУ ТП показана на рис. 214.

Объектами управления в ГПС являются автоматизированный склад, автоматизированная транспортная система АТС, технологическое оборудование с ЧПУ и технологическое оборудование с перепрограммируемыми системами циклового программного управления, а также технологический процесс в целом. Для управления рабочими циклами технологического оборудования используются локальные системы управления (ЛСУ): микроЭВМ, программируемые контроллеры (ПК) и устройства ЧПУ (УЧПУ).

Для задания требуемого рабочего цикла локальная система должна быть запрограммирована на этот цикл. Для неё составляется управляющая программа. Эта программа должна быть разработана в ходе технологической подготовки производства.

Чтобы осуществить технологический процесс в целом, необходимо обеспечить взаимодействие технологического оборудования и требуемую технологическим маршрутом последовательность операций. Для этого необходимо согласовать работу локальных систем управления.

Задача обеспечения локальных систем управления требуемыми в данный момент управляющими программами и согласования их работы решается с помощью ЭВМ верхнего уровня, которая связана каналом передачи информации с локальными системами управления. Необходимая последовательность выполнения операций технологического процесса и условия его осуществления определяются программным обеспечением ЭВМ верхнего уровня управления. При изменении технологического процесса это программное обеспечение должно быть модернизировано.

Таким образом, при технологической подготовке производства необходимо на основе созданного технологического процесса производства изделия разработать комплекс управляющих программ

для локальных систем управления оборудованием и изменяемую часть программного обеспечения верхнего уровня АСУ ТП.

Для разработки программного обеспечения используются различные автоматизированные системы программирования. Разработка УП для оборудования с ЧПУ ведётся с использованием систем автоматизированного программирования станков с ЧПУ (САП). Разработка ПО верхнего уровня управления и программируемых контроллеров ведётся с использованием инструментальных SCADA-систем.

САПР/АПП рассматривается как программно-аппаратный комплекс. Аппаратная часть реализуется на ЭВМ, которая должна иметь достаточные вычислительные возможности (быстродействие, объем памяти и др.) и необходимый состав периферийных устройств. Могут использоваться персональные компьютеры, рабочие станции или ЭВМ общего применения. ЭВМ должна быть оснащена соответствующей операционной системой.

Функции и возможности САПР/АПП будут определяться прикладным программным обеспечением. Это программное обеспечение укрупнено состоит из двух подсистем: подсистема проектирования и подсистема управления автоматизированным производством (технологическим процессом). Человек взаимодействует с системой, используя средства интерактивной графики, а система взаимодействует с производством путём программирования АСУ ТП или локальных систем управления (систем ЧПУ) в составе АСУ ТП.

Укрупнённая структура САПР/АПП показана на рис. 215. Подсистема САПР выполняет функции автоматизированного проектирования, взаимодействуя с оперативным персоналом в интерактивном режиме. Подсистема АПП выполняет функции автоматизированной технологической подготовки производства. Таким образом, при работе с системой проектирование изделия

объединяется с проектированием технологии изготовления этого изделия (в виде программного обеспечения для АСУ ТП).

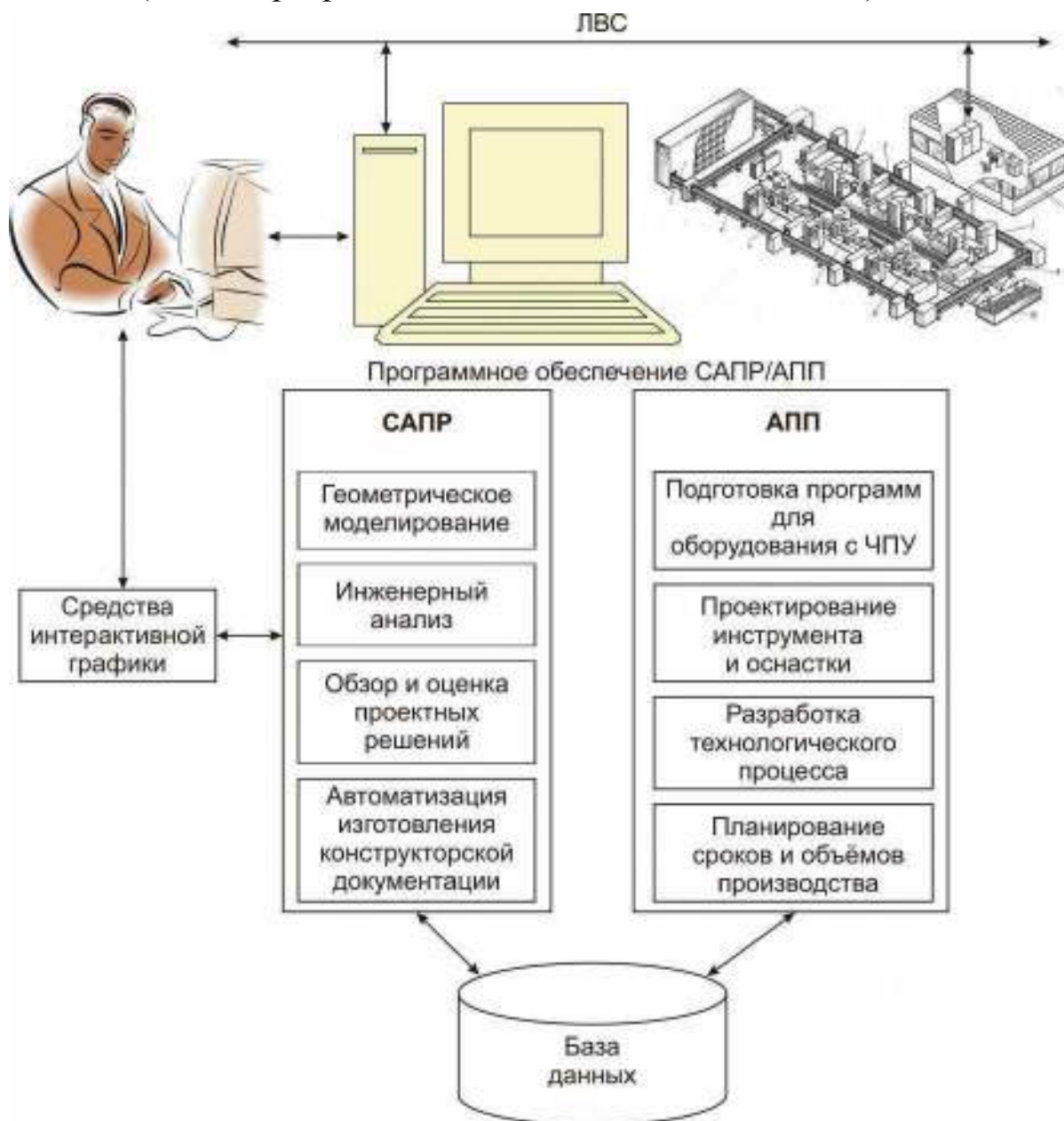


Рис. 215. Структура САПР/АПП

Взаимодействие подсистем осуществляется через единую для этих подсистем базу данных. База данных содержит всю информацию об изделии, которая формируется в процессе проектирования изделия (форма деталей, спецификации, технические требования и др.), а также дополнительные сведения для изготовления изделия. Начинает формировать базу данных подсистема САПР.

Подсистема АПП, используя информацию базы данных, в интерактивном режиме формирует информацию о технологическом процессе изготовления изделия, которая так же заносится в базу данных. Таким образом, в базе данных имеется вся информация, необходимая для технологического процесса изготовления изделия.

Технология изготовления изделия оформляется в виде программного обеспечения для АСУ ТП. Связь системы САПР/АПП с АСУ ТП обычно осуществляется с использованием локальной вычислительной сети ЛВС по стандарту Ethernet или промышленному стандарту (PROFIBUS, MODBUS и др.).

Примером современной системы САПР/АПП может служить распространённая в отечественной практике система автоматизации проектирования и подготовки производства t-flex. Эта система состоит из ряда программных компонентов, обеспечивающих проектирование изделий, разработку для них технологии изготовления и моделирование процессов обработки для проверки получаемых результатов:

- T-FLEX CAD 2D, CAD 3D – системы автоматизации двухмерного и пространственного проектирования с использованием параметрического метода построения чертежей.

- T-FLEX/ТехноПро – система автоматизированного проектирования технологии изготовления.

- T-FLEX ЧПУ – система автоматизированного программирования станков с ЧПУ.

- T-FLEX NC Tracer – система имитации процесса обработки на станке с ЧПУ и редактирования управляющих программ.

- T-FLEX DOCs – автоматизированная система управления проектами и документооборотом для технических документов.

Кроме перечисленных основных систем в составе t-flex имеются также системы другого назначения. Все системы, входящие в комплекс, полностью интегрированы между собой. Передача

информации от одной системы к другой осуществляется за счёт внутренней связи между модулями. Каждая из систем может работать как в комплексе с любой комбинацией других систем, так и автономно, что позволяет гибко и поэтапно решать задачи автоматизации подготовки производства любого предприятия.

Внедрение систем САПР/АПП вызвано эффективностью этих систем и повышением уровня автоматизации производства, использующего названные системы. Эффективность интегрированных САПР/АПП определяется следующими факторами:

- увеличение производительности высококвалифицированного оперативного персонала, возможность сокращения его численности и, соответственно, сокращение затрат на оплату труда;
- сокращение длительности цикла производства и ускорение реакции производства на запросы потребителей, что обеспечивает максимальную прибыль производителю;
- уменьшение влияния субъективного фактора операторов на результаты проектирования и производства, что приводит к повышению качества производственного процесса (уменьшение субъективных ошибок, оптимизация технических решений, повышение качества конструкторской и технологической документации и др.).
- Для разработки программного обеспечения АСУ ТП используются, как отмечалось, инструментальные SCADA-системы.

Инструментальная SCADA-система позволяет разрабатывать графический интерфейс оператора и программное обеспечение для средств управления в АСУ ТП.

Получили распространение пакеты: Genesis (ICONICS Process management at your fingertips), Trace Mode (AdAstrA Research Group, LTD), Genie (Advantech Industrial Automation with PCs), RSView (Rockwell Automation), InTouch, FIX, работающие в среде Windows и позволяющие достаточно быстро создать человеко-машинный

интерфейс для промышленных и исследовательских технологических систем.

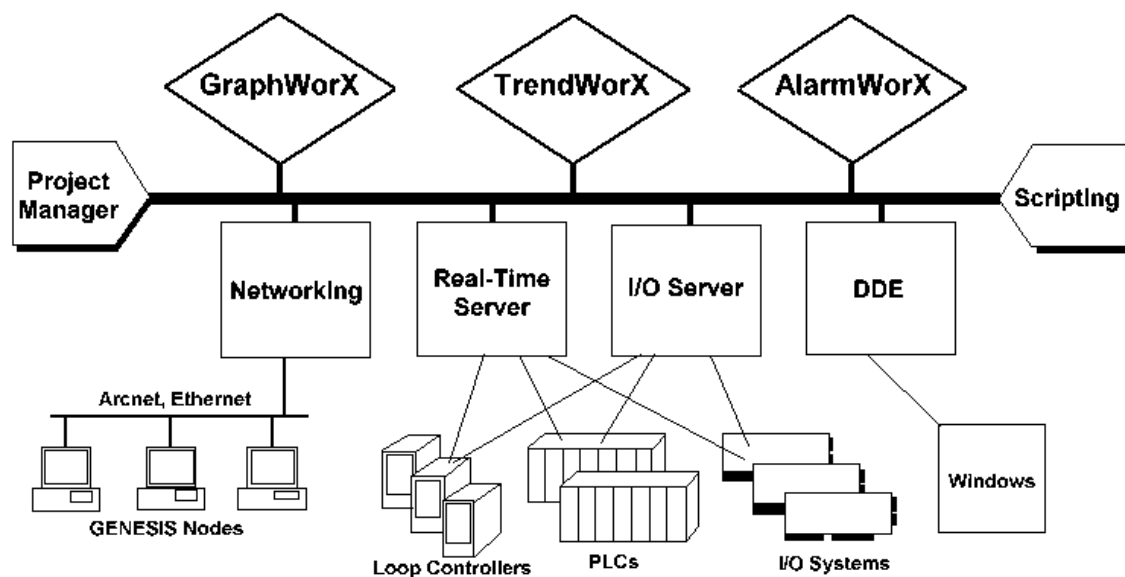


Рис. 216. Состав инструментальной SCADA – системы GENESIS

Состав и возможности инструментальной SCADA-системы можно продемонстрировать на примере системы GENESIS32, которая включает в свой состав (рис. 216):

- GraphWorX32 – инструментальное средство для визуализации контролируемых технологических процессов и оперативного управления на верхнем уровне АСУ ТП;
- TrendWorX32 – многооконная среда для обработки и интерпретации получаемой в процессе управления и контроля информации;
- AlarmWorX32 – мультимедийная среда для обработки и отображения аварийных ситуаций.

В пакете GENESIS32 имеются также средства системного администрирования и управления правами доступа к информации, связанной с системой (Project Manager). Имеется среда редактирования сценарных процедур (VBA Scripting), обеспечивающая возможность разработки части программного обеспечения средствами Visual Basic.

Встроенные сетевые средства (Networking) позволяют использовать систему в локальных сетях стандартов Arcnet и Ethernet. Для связи с устройствами управления, контроллерами, измерительными средствами используется "механизм связывания и внедрения объектов для сбора данных и управления в системах промышленной автоматизации" (OPC). OPC обеспечивает интерфейс между источниками данных (серверами) и получателями данных (клиентами) путем использования стандартного механизма.

Инструментальные SCADA-системы позволяют существенно упростить процесс разработки программного обеспечения АСУ ТП, автоматизировать этот процесс и повысить качество программного обеспечения. Использование стандартных средств обмена информацией в оборудовании различных производителей дает возможность в проектируемых системах применять широкую номенклатуру контрольно-измерительных средств и исполнительных механизмов, выпускаемых в мире.

9 ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

9.1 Типовые компоновки ГПС

При проектировании ГПС ее компоновка выбирается в зависимости от особенностей реализуемого технологического процесса и его сложности, от количества и вида оборудования, используемого в процессе, а также от ряда других условий производства. Однако опыт проектирования и эксплуатации ГПС позволяет выделить некоторые общие принципы компоновки.

Наиболее распространенные схемы компоновок ГПС можно рассматривать как типовые. Типовые компоновки реализуются с использованием различных автоматизированных транспортно-накопительных систем и могут использоваться для различных технологических процессов.

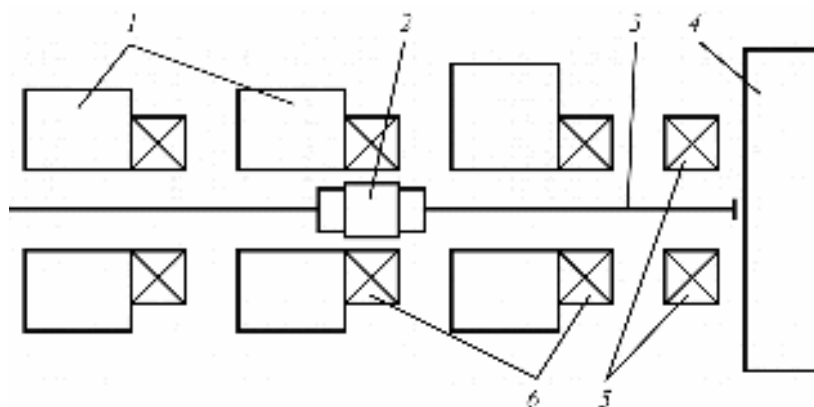


Рис. 217. Линейная компоновка ГПС

Планировка ГПС с линейной компоновкой показана на рис. 217. Технологическое оборудование 1 размещается в параллельные линии по обе стороны от транспортной магистрали 3, по которой перемещается транспортное средство 2. Центральный

автоматизированный склад 4 расположен с торца технологической системы. Его приемно-выдающие позиции 5 взаимодействуют с транспортным средством. Взаимодействие транспортного средства с технологическим оборудованием обеспечивается локальными приемно-выдающими устройствами 6.

Транспортные перемещения в системе возвратно-поступательные, что упрощает компоновку системы. Может обеспечиваться последовательное или выборочное обслуживание технологического оборудования. Система реализуется с использованием конвейеров, промышленных роботов и автоматических транспортных тележек.

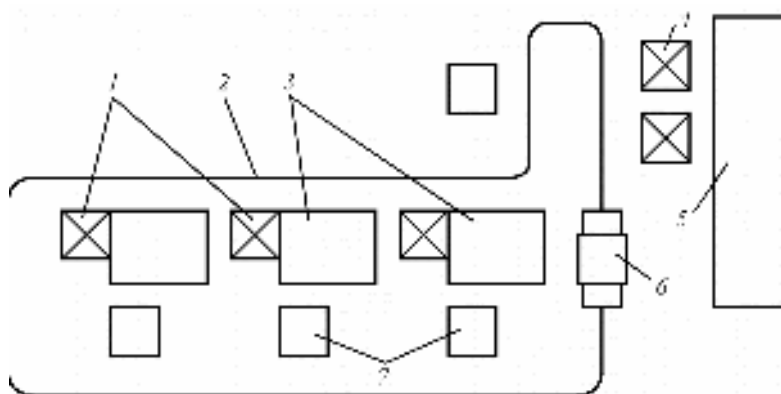


Рис. 218. Петлевая компоновка ГПС

Компоновочная схема ГПС с петлевой компоновкой показана на рис. 218. Транспортная магистраль 2, используемая транспортным средством 6, представляет собой замкнутую петлю, охватывающую обслуживаемое оборудование 3. Взаимодействие с оборудованием осуществляется через локальные устройства 1. Транспортная система с автоматизированным складом 5 взаимодействует через приемно-выдающие позиции 4 склада.

При петлевой компоновке транспортное средство может иметь доступ к обслуживаемому оборудованию как с фронтальной, так и с тыльной стороны. Последнее может быть полезным для удаления от оборудования отходов (например, стружки) через позиции 7.

При механической обработке АТНС обеспечивает четыре грузопотока: перемещение заготовок, тары для отходов, готовых деталей и отходов. Со склада 5 заготовки перемещаются на локальные накопители 1 в определённой последовательности. После обработки на оборудовании 3 изделия транспортируются на перегрузочный стол для контроля и передачи на другие технологические операции. Отходы собираются в тару у технологического оборудования и передаются на перегрузочный стол, предназначенный для сбора отходов.

Компоновка с петлевой трассой может быть реализована на основе подвесных адресуемых конвейеров, транспортных роботов или безрельсовых транспортных тележек.

Для крупных ГПС с большим числом технологического оборудования используется сетевая компоновка с разветвлённой транспортной магистралью (рис. 219). Транспортная магистраль имеет сетевую топологию. В составе системы можно выделить: автоматизированный склад 1, перегрузочные столы 2 склада, транспортная магистраль 3, транспортное средство 4, технологическое оборудование 5, столы стружкоприёмной тары 6, локальные накопители 7.

Из автоматического склада 1 заготовки в маркированной таре подаются штабелером на перегрузочный стол 2, который служит приёмной станцией для автоматического транспортного средства 4, снабжённого устройством для разгрузки и разгрузки. Транспортное средство доставляет заготовки в накопители 7 и забирает из последних готовые изделия. Обслуживание возможно в любом порядке.

Такая разветвлённая схема обеспечивает гибкость в управлении и автоматическую передачу заготовок с оборудования в пределах ГПС

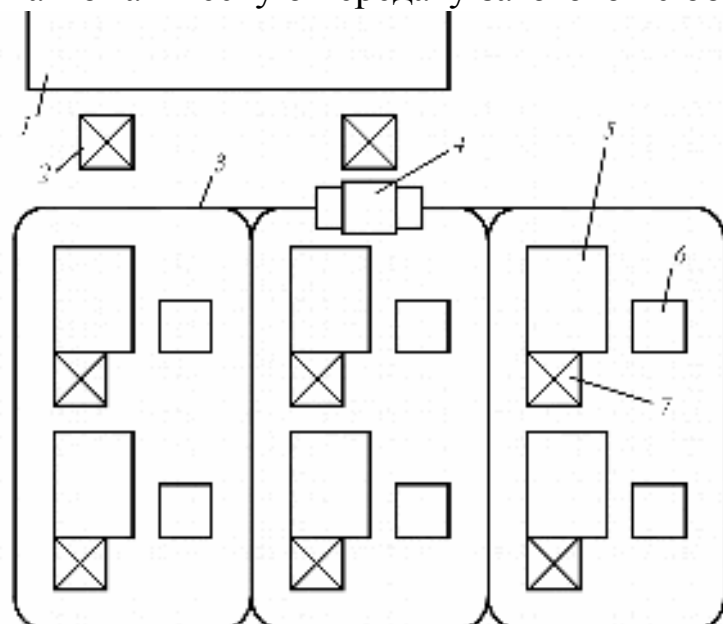


Рис. 219. ГПС с сетевой компоновкой

с контролем размеров заготовок и без него. Один или два раза в смену та же система развозит поддоны для стружки по столам технологического оборудования и собирает накопленные поддоны на приемный стол для сбора стружки.

Прошедшие

обработку изделия в таре передаются на перегрузочный стол 2 склада, откуда автоматическим штабелером загружаются в свободные ячейки склада.

Описанная компоновка может быть реализована с применением адресуемых подвесных конвейеров или автоматических безрельсовых транспортных тележек.

При использовании такой компоновки возникает необходимость управления организацией безопасного движения в транспортной системе, что должно учитываться при разработке системы управления. Во всех компоновках в АТНС присутствует автоматизированный склад, который взаимодействует с автоматизированной транспортной системой.

9.2 ГПС гаммы «Талка»

Примером этапного совершенствования и наращивания функциональных возможностей ГПС являются отечественные ГПС гаммы «Талка». Эти ГПС предназначены для механической обработки

корпусных деталей и базируются на использовании отечественных обрабатывающих центров серии ИР (ИР500, ИР320 и др.). Гамма ГПС «Талка» включает как сравнительно простые ГПС с невысоким уровнем автоматизации, так и сложные полноразмерные ГПС с автоматизацией всех основных функций производственного процесса.

В зависимости от уровня автоматизации и сложности ГПС, они могут использоваться в различных производствах и требуют различных капитальных затрат на внедрение. Естественно, что возможности их применения также различны.

Гамма ГПС «Талка», основанная на применении обрабатывающих центров ИР500, получила обозначение «Талка 500». Основу ГПС этой гаммы составляет ГПМ типа «Модуль ИР500ПМФ4», рассмотренный нами ранее и предназначенный для обработки сложных корпусных деталей массой до 500 кг.

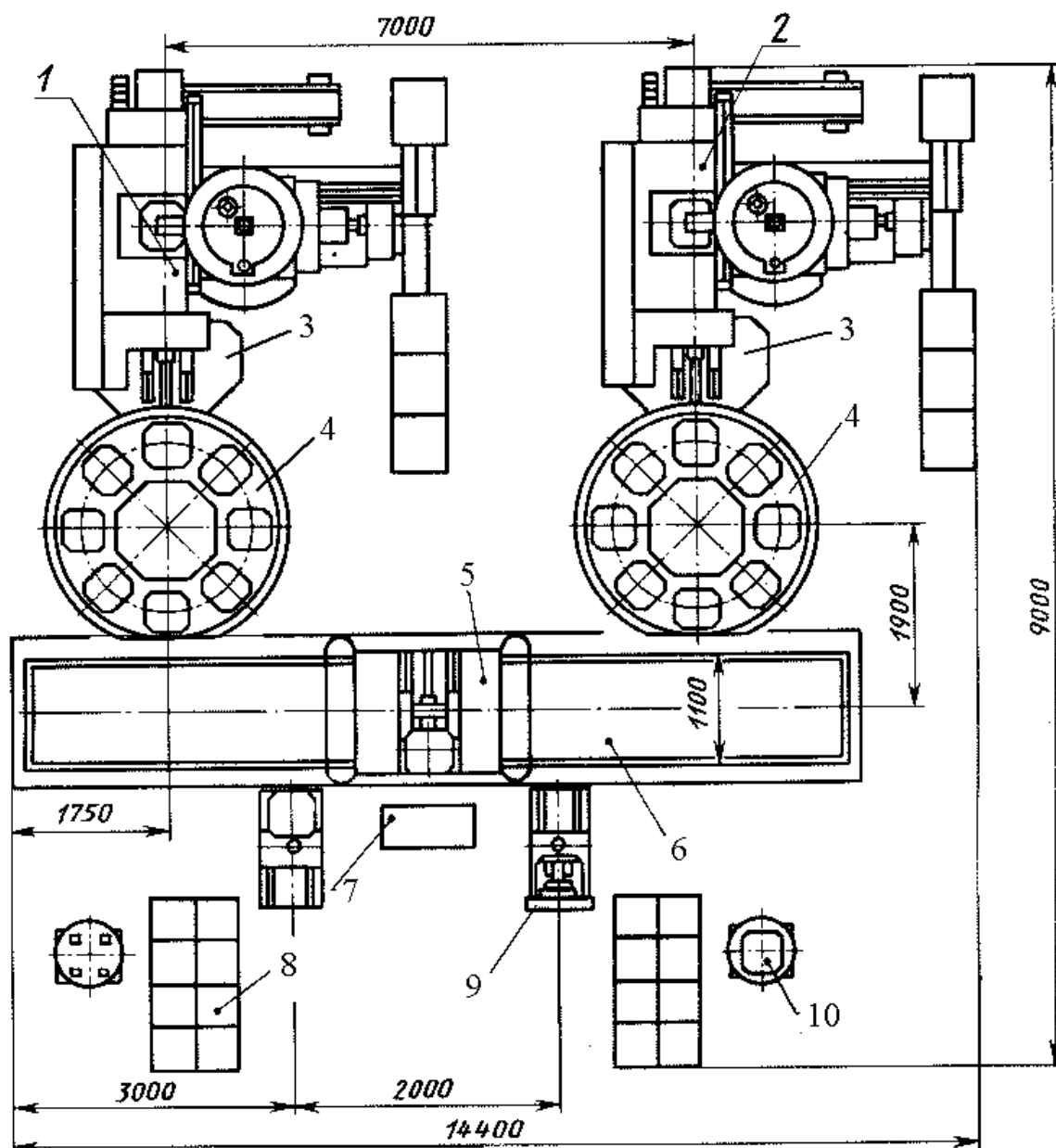


Рис. 220. ГПС "Талка 500.5"

ГПС "Талка 500.5". Наиболее простым вариантом ГПС гаммы «Талка 500» является ГПС «Талка 500.5», обобщенная компоновка которой показана на рис. 220. Эта ГПС относится к разновидности гибкого автоматизированного участка (ГАУ). В ее составе имеются два ГПМ 1 и 2, автоматизированная транспортная система на базе рельсовой автоматической транспортной тележки ТС500, участок для подготовки спутников и инструмента с ручным обслуживанием.

Каждый ГПМ оснащен локальным восьмиместным карусельным накопителем спутников 4 и двухпозиционным поворотным приемно-передающим столом 3 для автоматизации загрузки-разгрузки станка. Обработываемый комплект состоит из спутника с закрепленной на нем заготовкой.

Спутники комплектуются вручную на подготовительном участке. На этом участке имеются сборочные стенды 10, манипуляторы с ручным управлением и автоматические приемно-передающие столы 9, взаимодействующие с транспортной системой. На этом же участке комплектуется и настраивается инструмент для станков. Запасы спутников и инструмента располагаются на стеллажах 8.

Материальные потоки ГПС (спутники с заготовками, обработанными деталями и инструментальными кассетами) обеспечиваются автоматической транспортной рельсовой тележкой 5, перемещающейся по рельсовым направляющим 6. Используется тележка TC500. Управляется тележка от программируемого контроллера 7 модели РС-400, установленного стационарно.

В описанной ГПС отсутствует центральная система управления, и управление обеспечивается за счет взаимодействия локальных систем управления: системы ЧПУ станков и программируемый контроллер транспортной системы.

ГПС «Талка 500.5» имеет невысокий уровень гибкости и предназначена для обработки 15–20 партий деталей в год. В системе используется 20 столов-спутников. Автоматизированная система инструментального обеспечения построена с использованием инструментальной кассеты и штатного инструментального манипулятора обрабатывающего центра. Для уборки стружки имеется винтовой конвейер.

ГПС «Талка 500.5» представляет собой ГПС начального уровня. Она эффективна на начальном этапе гибкой автоматизации в серийном производстве.

ГПС "Талка 500.3". Следующий уровень гибкой автоматизации представлен ГПС «Талка 500.3». Ее обобщенная компоновка показана на рис. 221. В составе этой ГПС имеется: 1, 2, 3, 4, 5 – гибкие производственные модули ИР500ПМФ4; 6 – автоматическая рельсовая транспортная тележка ТС500; 7 – рельсовые направляющие для тележки; 8 – программируемый контроллер РС-400 для управления транспортной тележкой; 9 – автоматические приемно-передающие столы для загрузки-разгрузки транспортной тележки; 10 – манипулятор с ручным управлением; 11 – автоматическая моечная машина, 12 – автоматизированный склад СТ-0,5 на 200 ячеек.

В составе ГПС имеется также два участка с ручным обслуживанием: участок подготовки столов-спутников УПС и участок настройки инструмента УНИ. На этих участках обеспечивается комплектации обрабатываемых комплектов «спутник-приспособление-заготовка» и инструментальных кассет или

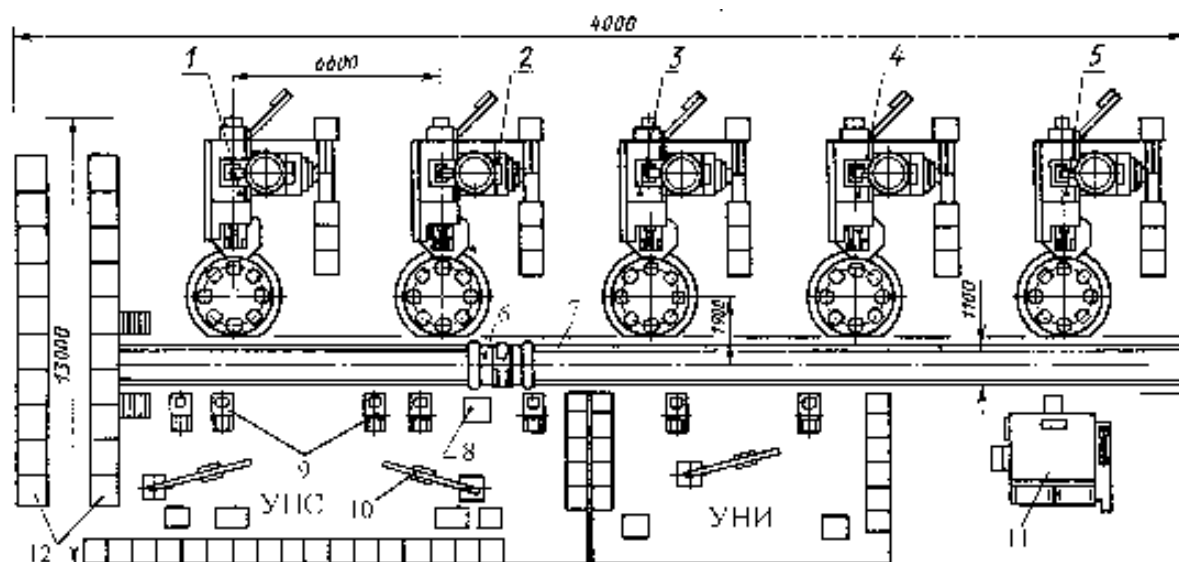


Рис. 221. ГПС "Талка 500.3"

Автоматизированная транспортная система обеспечивает материальные потоки между складом, модулями, моечной машиной и участками ручной обработки спутников. Обработывающие модули в значительной степени автономны, поскольку имеют локальные накопители спутников. Вдоль тыльной стороны станков, параллельно транспортному пути может устанавливаться конвейер для удаления тары со стружкой.

«Талка 500.3» предназначена для обработки 20–100 партий деталей в год. Одновременно в ней используется 60 столов-спутников. Общее управление системой осуществляет оперативный персонал, поскольку АСУ ГПС отсутствует.

ГПС "Талка 500.2". Наиболее высокий уровень автоматизации имеет «Талка 500.2». Компоновочная схема этой ГПС показана на рис. 222, где выделены следующие компоненты: 1, 2, 3, 4, 5 – ГПМ ИР500ПМФ4; 6 – автоматизированный склад СТ-0,25 на 360 ячеек;

7 – координатно-измерительная машина для контроля обработанных деталей; 8 – участок комплектации и хранения инструмента; 9 – автоматическая моечная машина; 10 – трасса движения робокара; 11 – робокар с индуктивной системой путевого управления.

«Талка 500.2» предназначена для обработки 10–15 партий деталей в год. Одновременно в системе используется 300 столов-спутников. В системе имеется АСУ ГПС, которая реализована на базе управляюще-вычислительного комплекса (УВК).

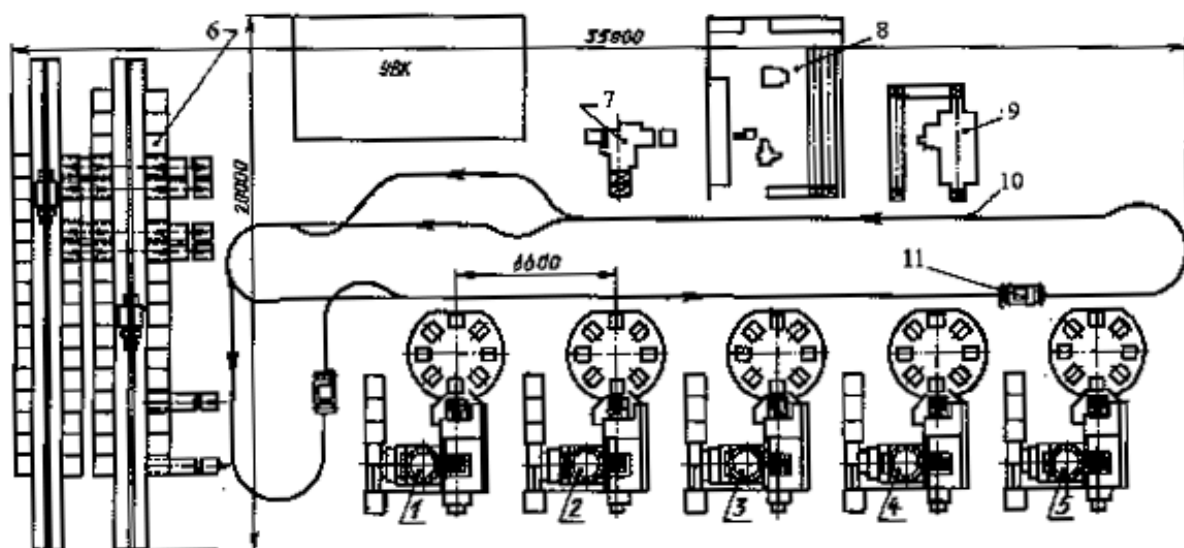


Рис. 222. ГПС "Талка 500.2"

9.3 Примеры зарубежных ГПС

Гибкие производственные системы получили широкое распространение за рубежом при автоматизации различных технологических процессов. Наиболее разработаны и шире распространены ГПС для механической обработки, поскольку этот вид обработки особенно трудоемок. ГПС производятся и используются во всех промышленно развитых странах. Преобладают

индивидуальные проекты ГПС, хотя и наблюдается тенденция к унификации их технических решений.

ГПС MAZAK Corp. Структурно-компоновочная схема ГПС фирмы MAZAK Corp. (США) показана на рис. 223. На схеме показаны: 1 – обрабатывающие центры (всего 13 ОЦ); 2 – прочие станки;

3 – накопители инструмента; 4 – робокары с индуктивным путевым управлением; 5 – накопители заготовок; 6 – робокар для перевозки инструментальных магазинов; 7 – бокс для центральной ЭВМ.

Описываемая ГПС используется для производства деталей станков и изготовлена фирмой MAZAK Corp. Yamazaki (Япония). Две такие ГПС образуют автоматизированный цех. Общее число станков в ГПС равно 16, из них 13 обрабатывающих центров. Номенклатура деталей, обрабатываемых в ГПС, составляет 180 наименований.

Особенностью компоновки ГПС является использование распределенной транспортно-накопительной системы (без центрального склада) и робокаров для автоматизации транспорта. Функции робокаров разделены. Для обслуживания автоматизированной системы обеспечения станков инструментом выделен специальный робокар. При смене инструмента заменяется

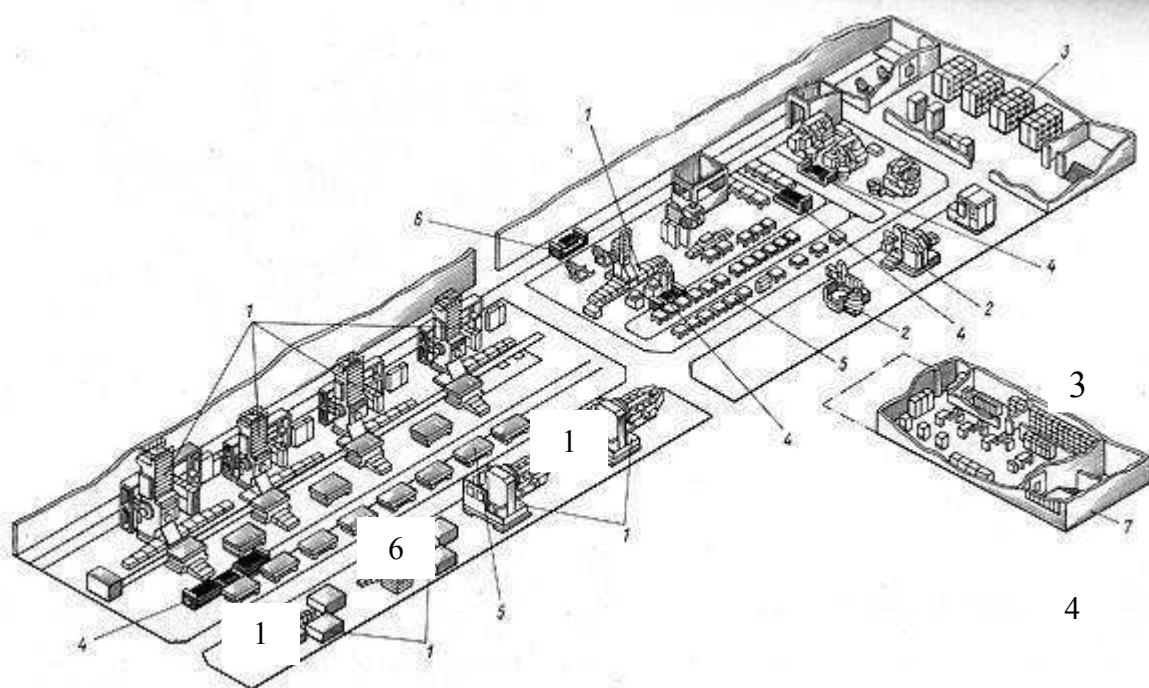


Рис. 223. ГПС MAZAK Corp



Управление ГПС производится от центральной ЭВМ, которая размещается в отдельном боксе. В АСУ ГПС предусмотрены функции автоматизированной подготовки производства и проектирования (CAD/CAM). ГПС обеспечивает трехсменную работу в безлюдном режиме. Стоимость ГПС составила 20 млн. долларов.

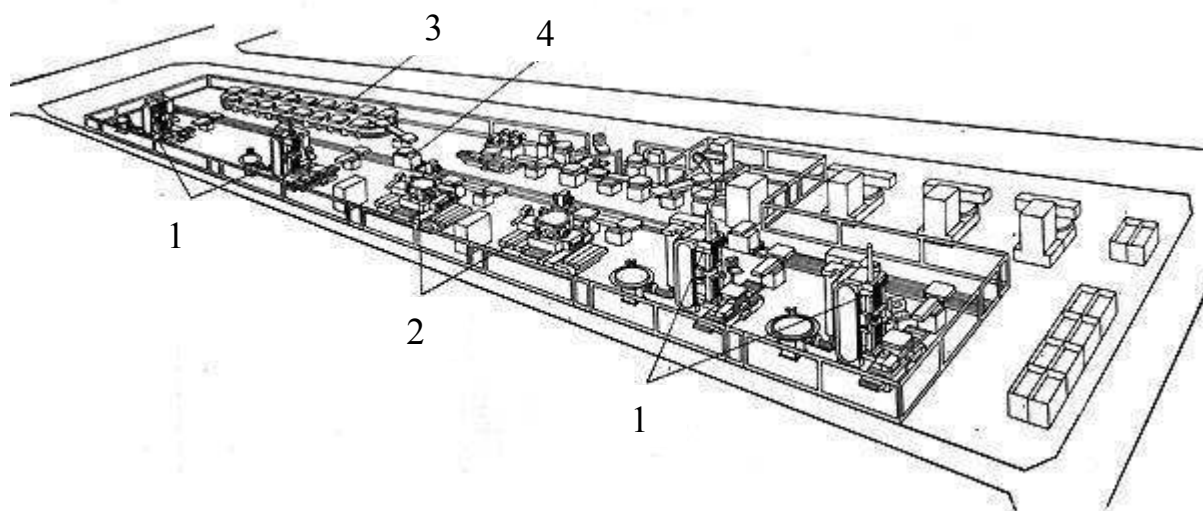


Рис. 224. ГПС фирмы Mandelli SpA

ГПС фирмы Mandelli. Структурно-компоновочная схема этой ГПС показана на рис. 224, где 1 – обрабатывающие центры, 2 – агрегатные многошпиндельные станки, 3 – накопитель палет (спутников), 4 – рельсовая автоматическая транспортная тележка.

Рассматриваемая ГПС поставлена фирмой Mandelli SpA (Италия) и используется на предприятии фирмы Rockwell IVECO для производства корпусных деталей трансмиссии грузовых автомобилей. Могут обрабатываться детали с размерами в пределах 800 мм. В ГПС использованы 4 станка, причем три из них – обрабатывающие центры.

Центральный склад в ГПС отсутствует, вместо него используется накопитель палет. Транспорт осуществляется автоматической рельсовой транспортной тележкой. Для обрабатывающих центров используются сменные инструментальные магазины. В составе ГПС имеется также моечная машина и измерительный робот для автоматического контроля размеров обработанных деталей.

ГПС обеспечивает производительность около 8 деталей в час и имеет возможности для расширения. Расширение возможно за счет добавления станков и транспортной тележки. При расширении ГПС ожидаемая производительность повышается почти вдвое.

ГПС фирмы Cincinnati Milacron. Эта ГПС используется на авиационном предприятии фирмы Vought Aerospace Corp. (США) при производстве деталей фюзеляжа и других узлов самолетов. Номенклатура ГПС составляет 600 наименований деталей. Размеры обрабатываемых деталей до 1 м. В составе ГПС используются 8 обрабатывающих центров.

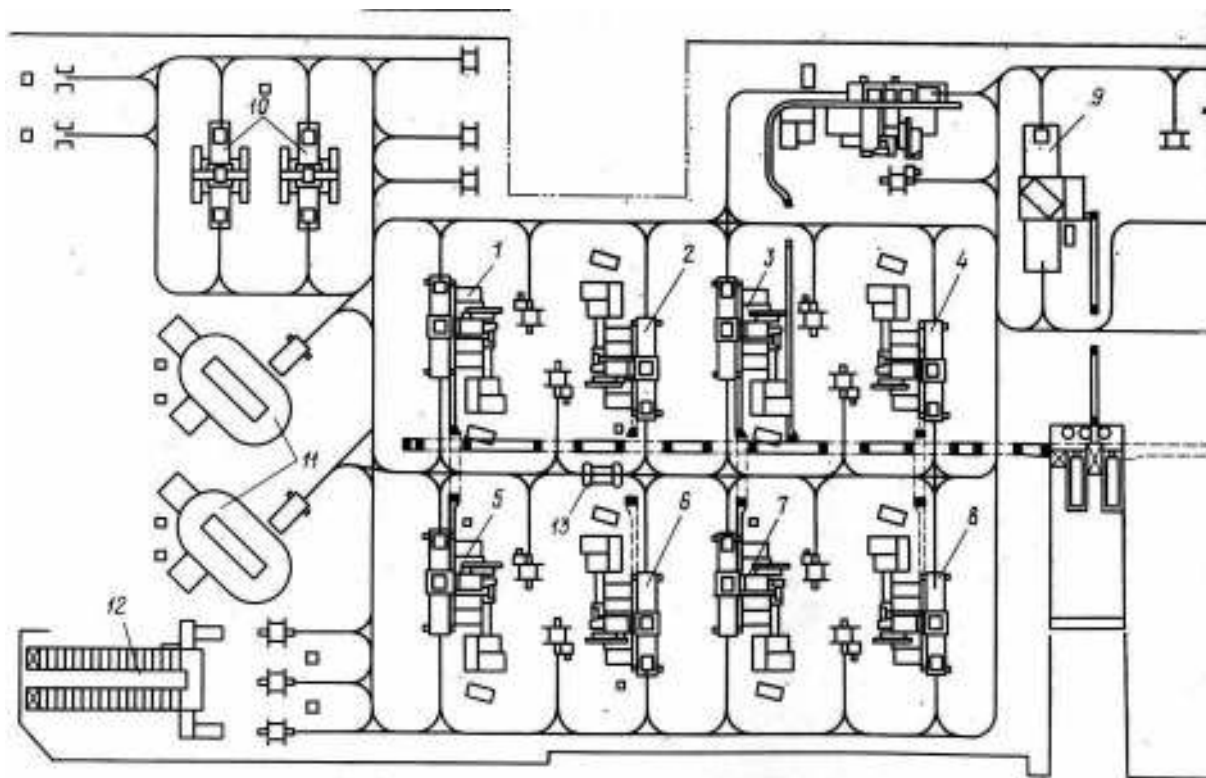


Рис. 225. ГПС фирмы Cincinnati Milacron

Структурно-компоновочная схема ГПС приведена на рис. 225. Цифрами на рисунке обозначены: 1...8 – обрабатывающие центры, 9 – моечная машина, 10 – координатные измерительные машины, 11 – накопители палет, 12 – склад инструмента, 13 – транспортная тележка с индуктивным путевым управлением.

В ГПС использованы накопители палет и инструмента, центральный склад не используется. Транспорт обеспечивается робокарами с индуктивной системой путевого управления. Для технического контроля обработанных деталей служат две координатные измерительные машины фирмы DEA. Имеется моечная машина.

Для управления ГПС применена управляющая ЭВМ PDP 11/70 фирмы DEC. ГПС работает в три смены. В ночную смену работа осуществляется в безлюдном режиме. Стоимость ГПС составила 10 млн. долларов. Внедрение ГПС позволило снизить время обработки деталей в 3 раза.

ГПС фирмы Komatsu. ГПС применяется на автомобильном предприятии японской фирмы Kawasaki для производства деталей автомашин. Номенклатура изготавливаемых деталей включает 130 наименований, размеры партий лежат в пределах от 6 до 48 штук. Масса обрабатываемых деталей колеблется от 5 кг до 350 кг. Всего в ГПС задействовано 12 станков, из них 6 токарных станков и 3 обрабатывающих центра.

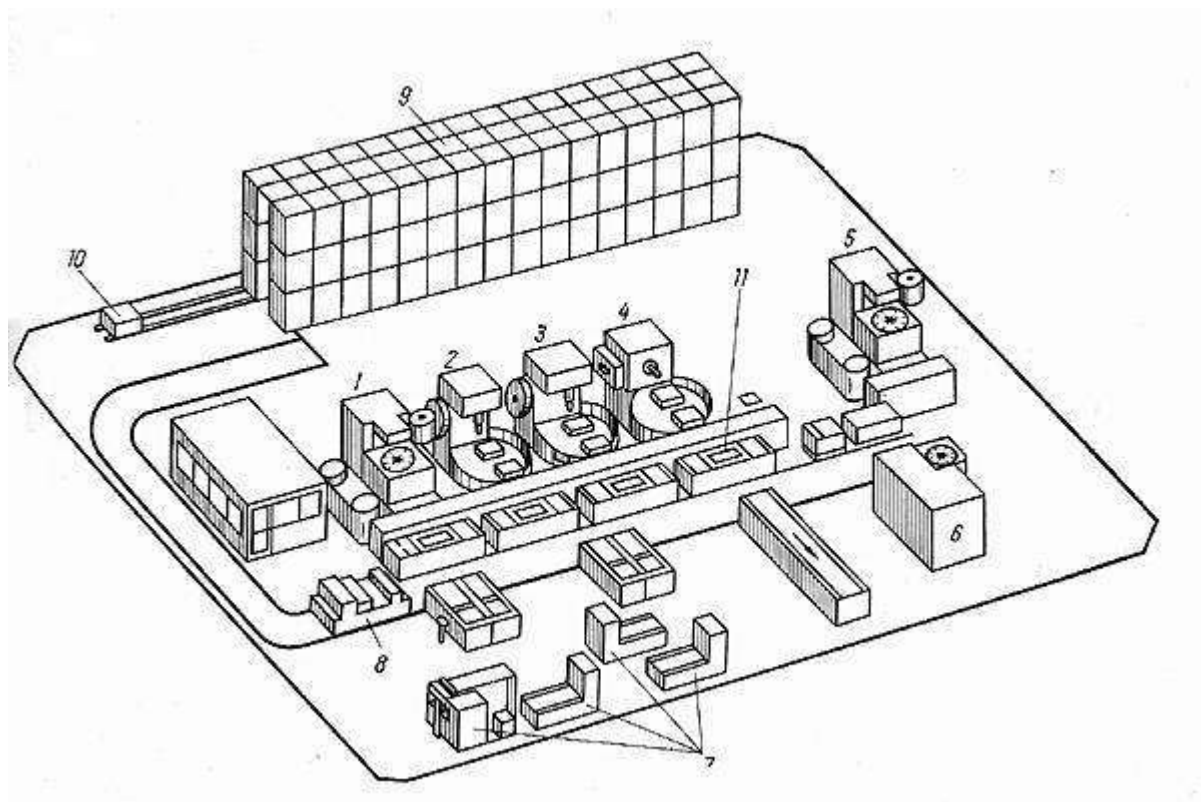


Рис. 226. ГПС фирмы Komatsu

Структурно-компоновочная схема ГПС представлена на рис. 226, где 1 – вертикальный токарный станок, 2...4 – обрабатывающие центры, 5 – вертикальный токарный станок, 6 – расточной станок, 7 – токарные станки, 8 – робокар, 9 – автоматизированный склад, 10 – транспортная тележка, 11 – локальный накопитель палет.

Автоматизированный многоярусный склад используется для хранения заготовок. В его состав входит рельсовая автоматическая транспортная тележка. Обрабатывающие модули обслуживаются робокаром с индуктивной системой управления маршрутом.

Управление ГПС осуществляется от центральной ЭВМ, размещенной в отдельном боксе. В результате внедрения ГПС производительность повысилась в два раза.

10 МЕХАТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

10.1 Введение в мехатронику

В процессе автоматизации производства создан класс машин, в которых электронное и компьютерное управление сочетается с механическими органами, реализующими необходимые физические действия. Типичным представителем таких машин является современный промышленный робот. Теоретическую основу выделившегося класса машин составляют теория механических устройств (теория механизмов и машин) и теория вычислительных управляющих систем (электроника). Эти два направления объединяются в новую отрасль науки, названную мехатроникой.

Термин мехатроника означает совокупность двух научно-технических направлений и образован сочетанием частей названий этих направлений – механика и электроника. Основные идеи мехатроники начали формироваться по мере того, как в состав обычных машин, состоящих из разнообразных механизмов, стали входить электронные устройства. Эти устройства преобразили облик машин, расширили их функции и положили начало новому этапу в машиностроении и других сферах деятельности человека.

На рис. 227 отражена взаимосвязь научно-технических направлений, составляющих мехатронику. Мехатроника связана с автоматизацией производства, промышленной автоматикой и робототехникой, автоматизацией транспортных и складских функций производства. Преимущества практического использования достижений мехатроники заключаются: в снижении стоимости

продукции при одновременном повышении качества и потребительских свойств, повышении эффективности производства и росте прибыли.

Достижения мехатроники широко используются в товарах массового спроса: часы, фотоаппараты, кинокамеры, кондиционеры, швейные машины, холодильники и мн. др. Так, например, применение электронных устройств в часах существенно изменило их конструкцию и технологию производства и придало часам много новых функций, вплоть до функций калькулятора.

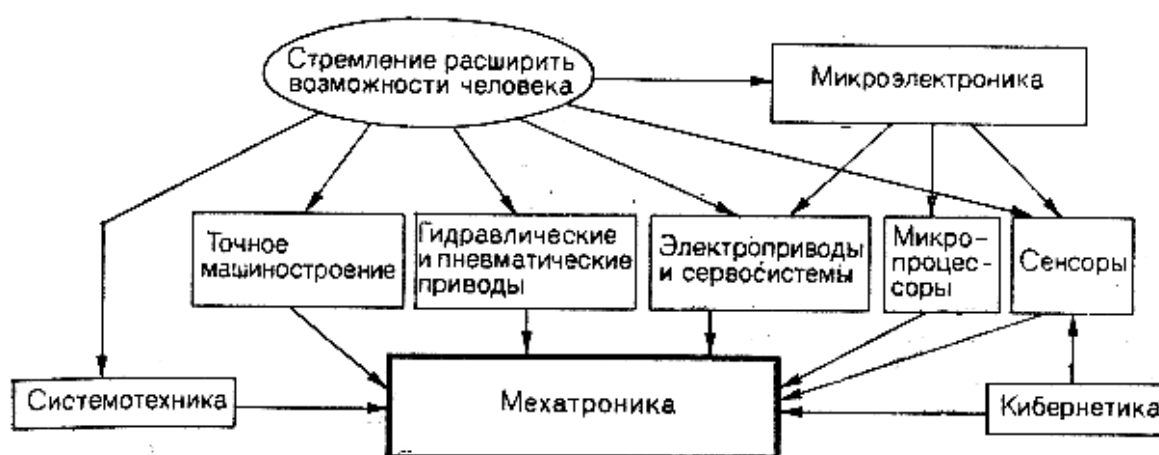


Рис. 227. Связи мехатроники с научными направлениями

Мехатронные устройства – это выделившийся в последние десятилетия класс машин, или узлов этих машин, базирующийся на использовании в них точной механики, электропривода, электроники, компьютерного управления. Мехатронное устройство обладает следующими характерными признаками:

1. Наличие выходного механического звена (ВМЗ), выполняющего внешние функции мехатронного устройства; силового электромеханического привода выходного звена; устройства программного управления приводом; информационной системы, контролирующей состояние окружающей среды и состояние самого мехатронного устройства.

2. Минимум преобразований информации и энергии (например, использование высокомоментных или линейных двигателей без редукторов) – принцип минимума преобразований.

3. Использование одного и того же элемента мехатронного устройства для реализации нескольких функций – принцип совмещения функций.

4. Объединение корпусов мехатронного устройства – принцип совмещения корпусов.

5. Применение сверхплотного монтажа элементов.

Примерами современных мехатронных устройств являются модули станков и промышленных роботов, устройства внешней памяти компьютеров, принтеры, бытовая техника и т.п. Мехатронное устройство может быть либо машиной, либо узлом (функциональный элемент, модуль) машины.

Мехатронный узел включает в себя:

- механизм, состоящий из корпуса, привода и выходного механического звена. Последнее может включать силовой элемент, механическую передачу движения, рабочий орган или другой оконечный элемент ВМЗ;

- усилитель мощности силового элемента;
- устройство управления усилителем мощности;
- внутреннюю информационную систему (датчики состояния самого мехатронного узла, средства обработки информации с датчиков);

- внешнюю информационную систему (сенсоры информации о внешней среде мехатронного узла, средства обработки этой информации);

- устройство управления мехатронным узлом.

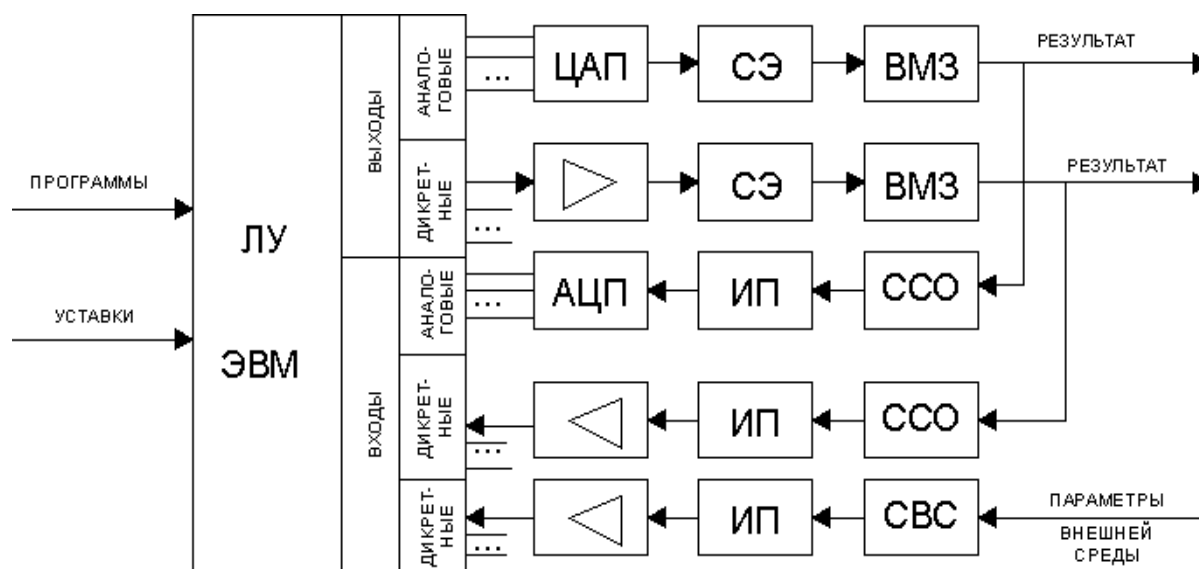


Рис. 228. Структура мехатронного устройства

Обобщенная структура мехатронного узла представлена на рис. 228, где приняты следующие обозначения: СЭ – силовой элемент, ВМЗ – выходное механическое звено, ССО – сенсор (датчик) состояния объекта, СВС – датчик параметра внешней среды, ИП – измерительный преобразователь, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЛУ – логическое устройство.

Мехатронное устройство может содержать несколько ВМЗ для выполнения требуемого набора действий. Каждое ВМЗ имеет свой силовой элемент СЭ (привод). Приводы управляются от электронного логического устройства ЛУ или ЭВМ. Для управления могут использоваться аналоговые и дискретные логические сигналы.

Сигналы управления должны быть согласованы с приводами объекта по виду и мощности. Для этой цели применяются электронные усилители мощности, гальванические развязки, АЦП и другие электронные устройства.

Контроль состояния объекта управления осуществляется датчиками ССО, сигналы которых преобразуются и нормируются измерительными преобразователями ИП. При необходимости

используются усилители и аналого-цифровые преобразователи АЦП. Измерительная информация этих датчиков используется для целей управления, при использовании замкнутого управления с обратной связью.

В случае применения адаптивного управления возникает необходимость в контроле параметров окружающей среды, и в устройство вводятся датчики параметров окружающей среды СВС, вырабатывающие соответствующую информацию. Информационные сигналы таких датчиков могут быть как аналоговыми, так и дискретными.

Задачами управления мехатронным устройством могут быть: задача автоматического регулирования, задача логико-программного управления, задача адаптивного управления. Для управления служит электронное логическое устройство ЛУ или компьютерное устройство управления. Управление осуществляется в соответствии с управляющими программами и заданными значениями управляемых параметров (уставками).

Таким образом, мехатронные модули движения предназначены для получения требуемого движения некоторого исполнительного устройства или рабочего органа называемого, как отмечалось, выходным механическим звеном. Это механическое движение ВМЗ получается из некоторого исходного движения, создаваемого приводом под воздействием системы управления. Необходимая функция перемещения ВМЗ во времени может быть получена либо путем управления приводом по соответствующему закону, либо путем функционального преобразования равномерного движения привода с помощью механизма преобразования и передачи движения (МПиПД). Первая постановка задачи относится к проектированию управляемых приводов, вторая связана с разработкой МПиПД, входящих в мехатронные устройства.

С учетом сказанного можно выделить три основные функции мехатронного модуля:

- 1) Получение исходного механического движения.
- 2) Преобразование исходного движения в требуемое.
- 3) Передача полученного движения к движущемуся объекту.

В качестве источника механического движения используют электро-, пневмо- и гидроприводы. Исходное механическое движение может иметь характер вращательного или поступательного движения. Преобразование исходного механического движения осуществляется с помощью различных механических устройств: редукторов, кулачковых, рычажных и других механизмов. Для передачи движения к рабочему органу используются различные кинематические цепи.

Описанная последовательность получения, преобразования и передачи движения является традиционной (классической). Одной из целей мехатроники является стремление сделать эту последовательность как можно короче. Оптимальным будет мехатронное устройство, содержащее привод и ВМЗ, движущееся по требуемому закону за счет соответствующего управления приводом.

Для современного состояния техники наиболее приемлемым способом получения требуемого функционального движения ВМЗ мехатронного модуля является комбинация управляемого привода с функциональным преобразователем движения.

На рис. 229 показан пример накопителя на гибком магнитном диске (НГМД), широко используемого в компьютерах в качестве внешнего запоминающего устройства. НГМД представляет собой органический комплекс механических и электронных устройств и является типичным мехатронным устройством.

Механическая часть НГМД включает: 1 – гибкий магнитный диск, являющийся носителем информации; 2 – привод вращения гибкого магнитного диска; 3 – конечный выключатель защиты записи;

4 – фотодатчик начала записи (начала дорожки); 5 – блок головок записи-считывания с электромагнитом прижима головок к поверхности диска; 6 – шаговый привод для позиционирования головок в радиальном направлении.

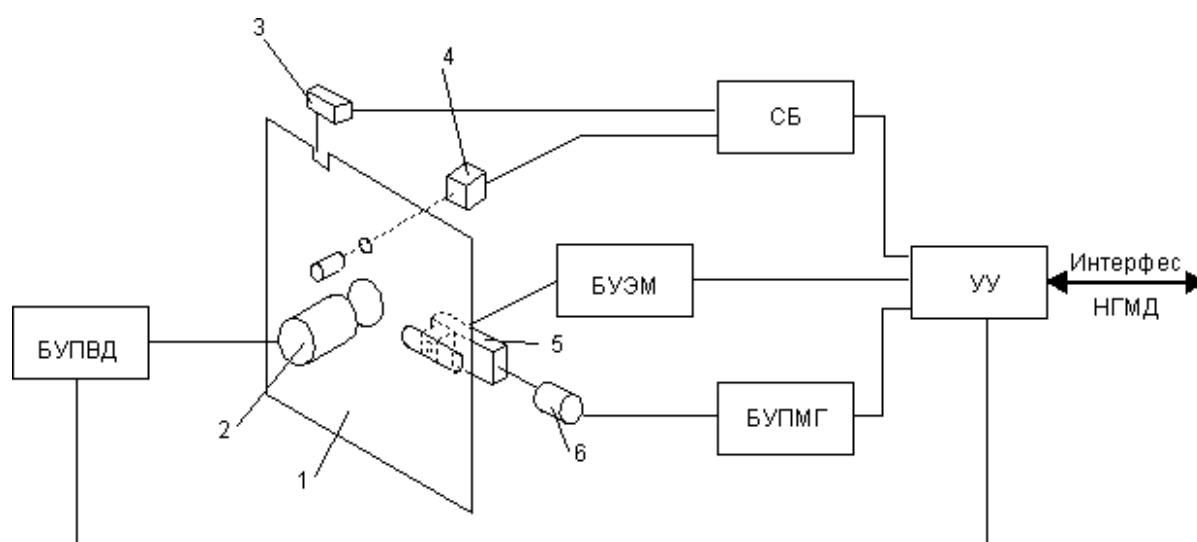


Рис. 229. Накопитель на гибком магнитном диске

Электронные устройства предназначены для управления рабочим циклом НГМД, для преобразования и усиления информационных сигналов и для связи НГМД с ЭВМ: БУПВД – блок управления приводом вращения диска; БУЭМ – блок управления электромагнитом прижима головок; СБ – схема блокировок; БУПМГ – блок управления шаговым приводом позиционирования магнитных головок; УУ – устройство общего управления с интерфейсными схемами.

Конструктивно НГМД выполнен в виде единого блока, который можно встраивать в корпус ЭВМ или других устройств. Печатные платы электронных устройств и механические устройства жестко соединены между собой. В результате НГМД представляет собой законченный электронно-механический модуль, выполняющий

функции записи, хранения и чтения информации, представляемой в виде электрических сигналов.

На рис. 230 приведена кинематическая схема мехатронного модуля для сборки вальцовочных соединений*. Объектом перемещений является вальцовочное устройство 4. Движение устройства обеспечивается за счет гайки 1 и винта 2. Гайка 1 может только вращаться, а винт – как вращаться, так и перемещаться поступательно. Вращательное движение винта обеспечивается двигателем М2 через муфту 3. Гайка вращается от двигателя М1.

При различных сочетаниях скоростей вращения ω_1 и ω_2 валов двигателей М1 и М2 устройство 4 может совершать три вида движения: чисто вращательное, чисто поступательное или винтовое.

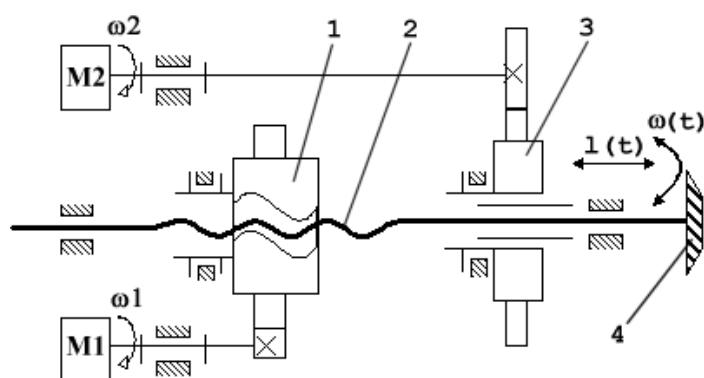


Рис. 230. Мехатронный модуль сборки вальцовочных соединений

Положение выходного механического звена определяется в системе координат, жестко связанной с корпусом механизма. ВМЗ может иметь одну или несколько степеней свободы относительно корпуса.

Такие узлы называют одно-, двух-, трех-, многокоординатными мехатронными узлами.

Мехатронные узлы могут иметь в одном механизме два или более ВМЗ. Название таких узлов обычно связано с их технологическим назначением, например, многошпиндельные, двухосевые, многокоординатные и т.п.

* Николаев, В.А. Мехатронный модуль для сборки вальцовочных соединений // Мехатроника, автоматизация, управление. Тр. первой Всероссийской науч.- техн. конф. с междунар. участием. – Владимир, 2004. – С.321–324.

По типу объединения корпусов механизма, усилителей, информационных устройств и устройств управления различают:

- многокорпусные мехатронные устройства (все корпуса жестко связаны между собой);
- распределенные мехатронные устройства (корпуса связаны только информационными и энергетическими интерфейсами);
- комбинированные мехатронные устройства (часть корпусов объединены в жесткие блоки).

При объединении мехатронных узлов (модулей, звеньев) они образуют мехатронную систему (машину), в которой мехатронные узлы обладают возможностью управляемого относительного перемещения. В этом случае узел чаще называют модулем.

10.2 Выбор структуры мехатронного устройства

При проектировании мехатронных систем возникает необходимость распределения функций между механическими и электронными средствами проектируемой системы. Поскольку поставленная задача имеет много вариантов решения, то в качестве обобщенного подхода к решению этой задачи можно предложить использование обобщенной математической модели функционального описания системы, разрабатываемой на основе модульного подхода.

Разобьем анализируемую мехатронную систему на конечное множество функциональных модулей $M(m_1, m_2, \dots, m_n)$. Каждый модуль m_i может быть реализован в виде механического (электромеханического, пневматического, гидравлического) устройства, в виде электронной схемы или в виде программы для ЭВМ. Припишем модулю функцию преобразования некоторого множества входных параметров $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в множество выходных параметров $Y(y_1, y_2, \dots, y_m)$

$$Y=F(X) \text{ или } y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n), i = 1, 2 \dots m.$$

В результате для каждого модуля будет получена система уравнений (их вид может быть любым), описывающих его функции. Взаимодействие модулей осуществляется путем передачи выходных параметров модуля на вход следующего модуля.

1

параметры, характеризующие качество модуля (точность, быстродействие, стоимость, затраты на переналадку и др.). Целевая функция будет зависеть от реализации модуля.

Рассмотрим в качестве примера модуль манипулятора, реализующий одну степень подвижности. Такой модуль может быть представлен в виде последовательного соединения устройства управления, исполнительного механизма и контрольно-измерительного устройства обратной связи.

Для исполнительного механизма возможны два случая реализации: гибкая реализация в виде программно-управляемого механизма и жесткая реализация в виде циклового механизма. При гибкой реализации исполнительный механизм будет иметь:

- вход $U(t)$ – функция управляющего воздействия,
- выход $I(t)$ – функция выходного перемещения.

Функциональное описание модуля манипулятора

$I(t) = A\{u(t)\}$, где A – оператор механизма.

На входе исполнительного механизма должна формироваться функция управления $u(t)$, которая определяет требуемую функцию выходного перемещения $I(t)$. Изменяя функцию управления, можно получить любую требуемую функцию перемещения (в пределах технических характеристик механизма).

При жесткой реализации исполнительного механизма

- вход: $X = 1$ – пуск, $X = 0$ – стоп,
- выход: $I(t)$.

Заданная функция $l(t)$ формируется самим исполнительным механизмом. Изменение этой функции возможно только путем перенастройки (переналадки) исполнительного механизма (в пределах, допускаемых его техническими характеристиками).

Целевая функция Q_i исполнительного механизма может учитывать: допустимость перенастройки механизма; быстродействие; точность; затраты на перенастройку; стоимость и др.

$$Q_i = \frac{\alpha}{T \int_0^{t_p} \varphi(t_p, \delta, C, q_n) dt},$$

где α – коэффициент, учитывающий допустимость перенастройки (0 или 1), t_p – длительность переходного процесса, δ – погрешность, C – стоимость, q_n – затраты на перенастройку, T – срок службы.

Целевая функция мехатронной системы в целом

$$Q = \prod Q_i.$$

Изменяя распределение функций между элементами и выбор элементов, можно обеспечить максимум целевой функции, что обеспечит оптимальность мехатронной системы для решения поставленной задачи. Предлагаемый подход создает основу для формализованного проектирования мехатронной системы с последующей возможностью автоматизации процесса проектирования.

10.3 Синтез кинематической модели мехатронной системы

Кинематическая модель мехатронного устройства во многом определяет его качество. Разработку кинематической модели (кинематической схемы) мехатронного устройства можно вести в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Анализ возможных путей решения задачи.
2. Синтез кинематической модели мехатронного модуля.
3. Синтез кинематической модели мехатронного устройства.

- 3.1. Синтез структурной схемы мехатронного устройства;
- 3.2. Описание мехатронного устройства уравнениями кинематики (например, аналитическими зависимостями, описывающими решения прямой задачи манипуляторов роботов);
- 3.3. Оценка качества кинематической схемы мехатронного устройства по соответствующим критериям.
4. Решение обратной задачи кинематики мехатронного устройства.
5. Разработка кинематической модели систем разгрузки звеньев мехатронного устройства.

При решении задачи синтеза кинематической модели мехатронного модуля учитывается специфика последнего, заключающаяся в возможности выполнения многих функций модуля как структурными, так и программными средствами.

Мехатронный модуль служит для обеспечения заданного закона перемещения ВМЗ путем создания с помощью системы управления необходимого закона движения силового элемента. В наиболее общем виде мехатронный модуль можно представить схемой, изображенной на рис. 231, где СЭ – силовой элемент, МПнПД – механизм преобразования и передачи движения; РО – рабочий орган

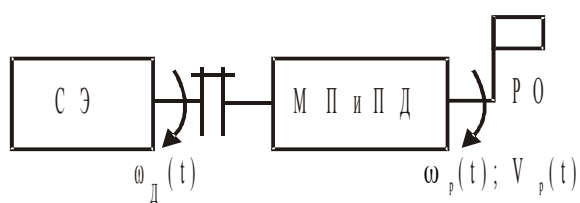


Рис. 231. Схема мехатронного модуля

мехатронного модуля; $\omega_d(t)$ – угловая скорость вала двигателя; ω_p и V_p – угловая или линейная скорость рабочего органа; t – время.

В зависимости от сложности заданного закона движения рабочего органа и от назначения мехатронного модуля функции получения и преобразования движения могут быть различным образом распределены между системой управления мехатронного модуля и

механизмом преобразования и передачи движения. Наиболее характерными являются следующие три случая:

1) закон движения рабочего органа полностью обеспечивается системой управления;

2) закон движения полностью обеспечивается механизмом преобразования и передачи движения;

3) закон движения обеспечивается совместно системой управления и механизмом передачи и преобразования движения.

В первом случае передаточное отношение i_M механизма преобразования и передачи движения должно быть постоянным.

Пример 1. Пусть необходимо перемещать рабочий орган возвратно-поступательно по гармоническому закону

$$S_p(t) = H \sin \frac{2\pi t}{T}; \quad 0 \leq t \leq T,$$

при условии использования в механизме преобразования и передачи движения передачи винт-гайка с шагом h (здесь H – амплитуда колебания (перемещения) рабочего органа, м; T – период колебаний, с).

Передаточное отношение i_M механизма преобразования и передачи движения можно определить как отношение скоростей его входного вала и рабочего органа или как отношение перемещений этих звеньев за единицу времени. Так как за один оборот входного вала рабочий орган в механизме винт-гайка перемещается на величину шага h , то

$$i_M = \frac{2\pi}{h}.$$

Установим закон изменения линейной скорости рабочего органа, продифференцировав выражение для $S_p(t)$:

$$V_p(t) = A \cos Bt,$$

где $A = 2\pi H / T$; $B = 2\pi / T$.

Примем $H = 0,05$ м; $T = 10$ с; $h = 0,005$ м. Положим, что вал электродвигателя соединен через муфту непосредственно с валом ходового винта,

тогда

$$\omega_{Bx}(t) = i_M A \cos Bt$$

или

$$\omega_{Bx}(t) = \frac{2\pi}{h} A \cos Bt,$$

где ω_{Bx} – угловая скорость входного звена механизма преобразования и передачи движения – в данном случае вала ходового винта.

Закон углового перемещения $\varphi_{Bx}(t)$ вала винта определяется интегрированием последнего выражения:

$$\varphi_{Bx}(t) = i_M \frac{A}{B} \sin Bt + \varphi_{Bx}^0,$$

где φ_{Bx}^0 – начальное положение вала ходового винта.

Определим некоторые параметры данного закона движения, а именно:

- максимальное значение угловой скорости вала винта

$$\omega_{l_{\max}} = \frac{2\pi}{h} A = \frac{2\pi \times 2 \pi \times 0,05}{0,005 \times 10} = 4\pi^2 \text{ с}^{-1};$$

- амплитуда перемещений вала ходового винта (определяется путем интегрирования выражения для $\omega_{Bx}(t)$ на интервале $0 \leq t \leq 0,25$ Т)

$$\varphi_{Bx}^a = i_M A / B = 2\pi H / h = 2\pi \times 0,05 / 0,005 = 20\pi \text{ рад.}$$

Таким образом, при реализации заданного закона движения вал ходового винта должен иметь амплитуду колебаний угла поворота, равную 10 оборотам, и менять скорость от нуля до примерно 40 с^{-1} в прямом и обратном направлениях. Если указанные диапазоны изменения параметров двигателя по каким-либо соображениям не

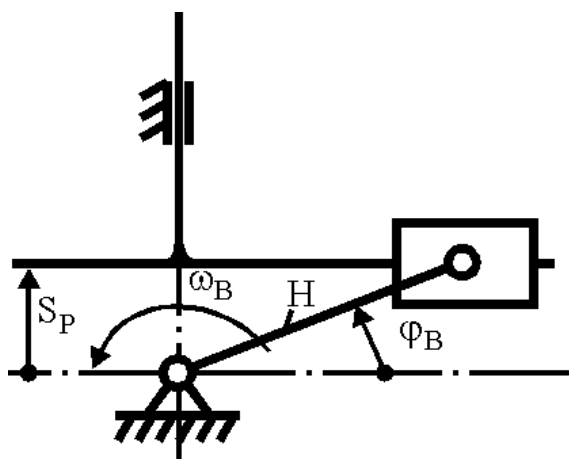


Рис. 232. Синусный механизм

устраивают разработчика, их можно пропорционально увеличить или уменьшить, предусмотрев в механизме преобразования и передачи движения понижающую или повышающую передачу (например, зубчатую).

Система управления в этом случае должна обеспечить необходимое значение крутящего момента на валу с учетом действительной скорости и положения рабочего органа.

Во втором случае, в отличие от первого, угловая скорость вала двигателя может быть постоянной.

Пример 2. Пусть для обеспечения гармонического закона движения используется синусный механизм (рис. 232), входящий в состав механизма преобразования и передачи движения и реализующий функцию

$$S_{pB}(t) = H \sin \omega t ,$$

где $\omega_B = 2\pi/T$ – угловая скорость входного вала синусного механизма;

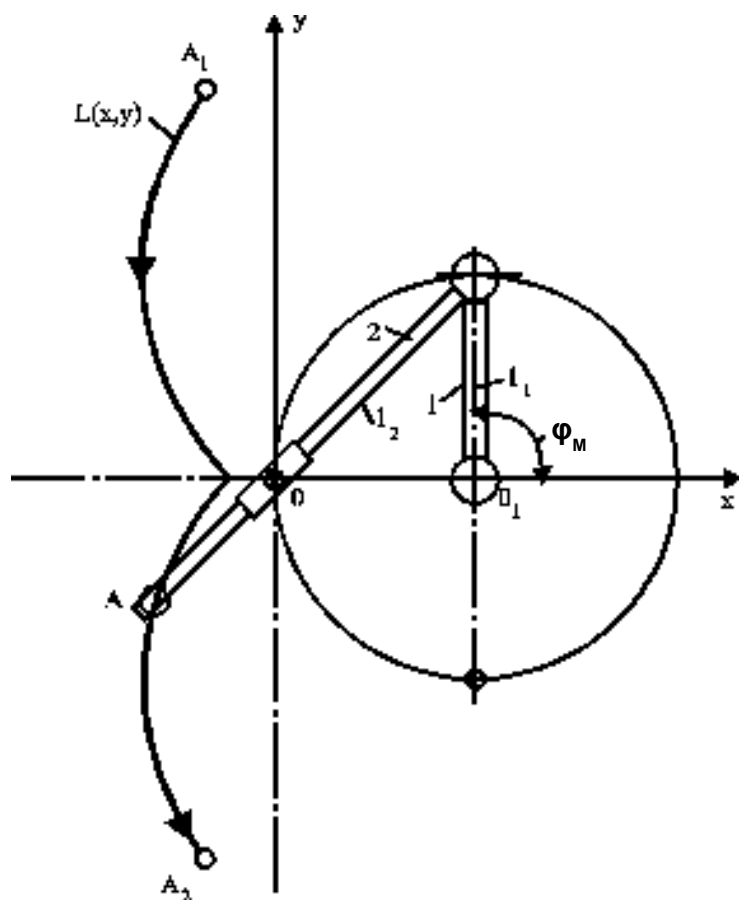


Рис. 233. Траектория и механизм движения ВМЗ

H – длина входного звена данного механизма, равная требуемой амплитуде перемещения рабочего органа.

Так как кинематика синусного механизма обеспечивает синусоидальный закон движения рабочего органа при $\omega_B = \text{const}$, то вал двигателя также должен иметь постоянную угловую скорость ω_d . Если в этом случае принять, что вал двигателя и вал синусного механизма соединены

муфтой, то при $T = 10 \text{ с}$ $\omega_B = \omega_d = 0,2 \pi \text{ с}^{-1}$.

Задачей системы управления двигателем в рассматриваемом случае будет обеспечение пуска двигателя и стабилизация его скорости (если необходимо) при изменяющейся во времени нагрузке на рабочий орган.

В третьем случае заданное движение рабочего органа обеспечивается совместно механизмом преобразования движения и системой управления. При этом возникает задача рационального распределения функций обеспечения заданного закона движения между механизмом преобразования движения и системой управления. Наиболее типичным является подход, когда предварительно

выбирается передаточное отношение $i_M(t)$ механизма преобразования движения, а затем рассчитывается требуемый закон движения вала двигателя, который обеспечивается системой управления двигателем.

Пример 3. Спроектировать мехатронный модуль, реализующий движение точки А выходного механического звена 2 по траектории $L(x, y, t)$, являющейся участком кардиоиды (рис. 233). Пусть перемещение этой точки в интервале изменения угла φ_M входного звена 1 от $-0,75\pi$ до $+0,75\pi$ происходит с постоянной скоростью V_A . Движение обеспечивается за счет вращения кривошипа 1. Предполагается, что движение точки А вне указанных границ изменения угла φ_M осуществляется по другому закону, который здесь не рассматривается.

Запишем параметрические уравнения движения точки А как функции угла φ_M поворота входного звена механизма:

$$x = l_1 + l_1 \cos \varphi_M - l_2 \cos 0,5 \varphi_M;$$

$$y = l_1 \sin \varphi_M - l_2 \sin 0,5 \varphi_M.$$

Получим уравнения для скоростей:

$$\dot{x} = -l_1 \sin \varphi_M \cdot \dot{\varphi}_M + 0,5l_2 \sin 0,5\varphi_M \cdot \dot{\varphi}_M;$$

$$\dot{y} = l_1 \cos \varphi_M \cdot \dot{\varphi}_M - 0,5l_2 \cos 0,5 \cdot \dot{\varphi}_M.$$

Абсолютная скорость точки А

$$V_A = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \dot{\varphi}_M \sqrt{l_1^2 + 0,25l_2^2 - l_1l_2 \cos(1,5\varphi_M)}.$$

Тогда

$$\dot{\varphi}_M = \frac{V_A}{\sqrt{l_1^2 + 0,25l_2^2 - l_1l_2 \cos(1,5\varphi_M)}}.$$

Здесь $V_A = \text{const}$ и задается в зависимости от требований реализуемого технологического процесса.

Последнее выражение является обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка и отражает зависимость угловой скорости вала механизма от его угловой координаты φ_M , т.е. $\dot{\varphi}_M(\varphi_M)$. Для решения задачи управления

необходимо иметь законы изменения скорости $\dot{\phi}_M$ и угла ϕ_M во времени: $\dot{\phi}_M(t)$ и $\phi_M(t)$.

Чтобы получить эти зависимости, можно воспользоваться, например, разностной схемой Эйлера и решить задачу численно. Вначале определить функцию $\phi_M(t)$ по рекуррентной формуле

$$\phi_M^{n+1} = \phi_M^{(n)} + \tau \cdot \dot{\phi}_M(\phi_M^{(n)}; t),$$

а затем функцию $\dot{\phi}_M[\phi_M(t)]$. Здесь τ – малое приращение времени (шаг решения). Расчет следует начинать с $\phi_M^{(n)} = -0,75\pi$.

Если между валом двигателя и входным валом рассматриваемого механизма имеется передача с передаточным отношением i_M , то

$$\omega_D(t) = i_M \dot{\phi}_M(t).$$

Максимальное значение $\dot{\phi}_M^{\max}$ угловой скорости должно быть обеспечено системой управления при $\phi_M = 0$, а минимальное $\dot{\phi}_M^{\min}$ – при $2\pi/3$.

$$\dot{\phi}_M^{\max} = V_A / (l_1^2 + 0,25l_2^2 - l_1l_2)^{0,5};$$

$$\dot{\phi}_M^{\min} = V_A / (l_1^2 + 0,25l_2^2 + l_1l_2)^{0,5}.$$

Пусть $V_A = 1$ м/с; $l_1 = 0,1$ м; $l_2 = 0,25$ м.

Тогда

$$\dot{\phi}_M^{\max} = \frac{1}{(0,1^2 + 0,25 \times 0,25^2 - 0,1 \times 0,25)^{0,5}} = 40 \text{ с}^{-1};$$

$$\dot{\phi}_M^{\min} = \frac{1}{(0,1^2 + 0,25 \times 0,25^2 + 0,1 \times 0,25)^{0,5}} = 4,44 \text{ с}^{-1}.$$

Таким образом, задача проектирования мехатронного устройства имеет многие варианты решения, которые отличаются, в частности, распределением функций между его электронной и механической частями, степенью гибкости спроектированного устройства, его сложностью и стоимостью.

10.4 Классификация типов механического движения

Мехатронные устройства предназначены, как отмечалось, для перемещения рабочих органов машин и других объектов в соответствии с назначением этих машин. Требуемое механическое движение можно классифицировать по различным признакам:

1. По функциональному назначению движения:

- механические движения для выполнения основных и вспомогательных операций в технологических и энергетических машинах;
- механические движения движителей транспортных средств;
- механические движения исполнительных органов систем управления.

2. По типу движения:

- плоское движение, когда все точки объекта перемещаются в одной или параллельной плоскостях;
- пространственное движение, когда движущийся объект имеет точки, траектории движения которых не лежат в одной или в параллельных плоскостях.

3. По характеру движения в плоскости:

- вращательное движение;
- поступательное движение;
- сложное (плоскопараллельное) движение, обычно получаемое в результате сложения простых движений.

4. По скоростному режиму:

4.1. Однонаправленное движение:

- однонаправленное движение с постоянной скоростью;
- однонаправленное движение с переменной скоростью;
- однонаправленное движение с мгновенными остановками в некоторых промежуточных положениях;
- однонаправленное движение с остановками конечной продолжительности в некоторых промежуточных положениях;

– однонаправленное движение с остановками конечной продолжительности и с мгновенными остановками в некоторых промежуточных положениях;

4.2. Разнонаправленное (реверсивное) движение:

– реверсивное движение с мгновенными остановками в момент смены направления движения;

– реверсивное движение с остановками конечной продолжительности между периодами движения объекта в разных направлениях;

– реверсивное комбинированное движение, когда между периодами движения в разных направлениях могут быть остановки как конечной продолжительности, так и мгновенной.

4.3. Комбинированное движение объекта, когда в отдельные

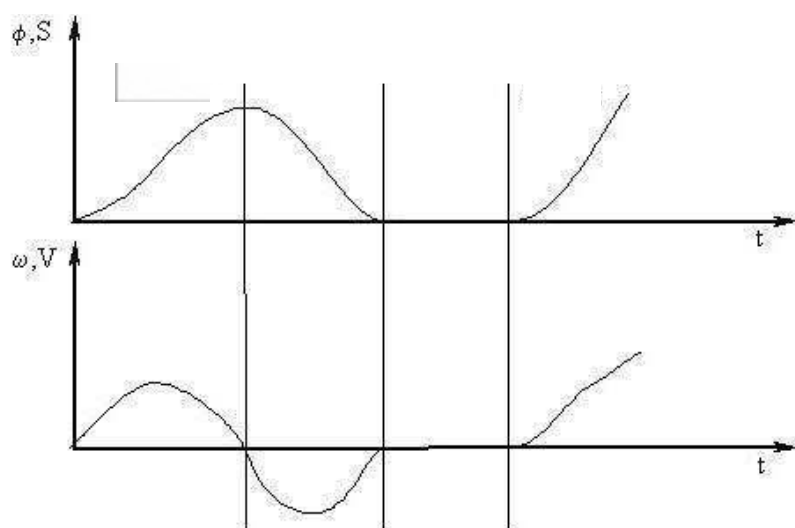


Рис. 234. Диаграммы реверсивного комбинированного движения

периоды времени объект совершает все возможные варианты однонаправленного движения, а в другие – все возможные варианты реверсивного движения.

Для характеристики скоростного режима движения объекта обычно используются временные диаграммы для угловых $\phi(t)$ и линейных $S(t)$ перемещений, а также временные диаграммы для угловых $\omega(t)$ и линейных $V(t)$ скоростей. В качестве примера на рис. 234 приведены диаграммы для реверсивного комбинированного движения.

5. По периодичности смены режимов движения:

- аperiodические движения, когда изменение скоростей при однонаправленном движении и изменение направления движения объекта при реверсивном движении, а так же остановки, происходят аperiodически, т.е. не являются циклическими;

- периодические движения объекта с циклическим повторением отдельных этапов движения; циклические движения характеризуются длительностью цикла и величиной перемещения за цикл.

6. По способу задания траектории движения в пространстве и во времени:

- позиционное, когда траектория движения объекта задается отдельными точками позиционирования, при этом объект имеет остановки в каждой точке позиционирования;

- контурное задание траектории движения, когда траектория движения определяется бесконечно большим числом ее точек.

При позиционном задании целью движения объекта является перемещение в точку пространства с заданными координатами. Это перемещение обеспечивается движением объекта по каждой координате пространства перемещений. Движения по координатам при этом не связаны друг с другом, что порождает неопределенность траектории и скорости движения. Случай позиционного управления поясняется на рис. 235, а).

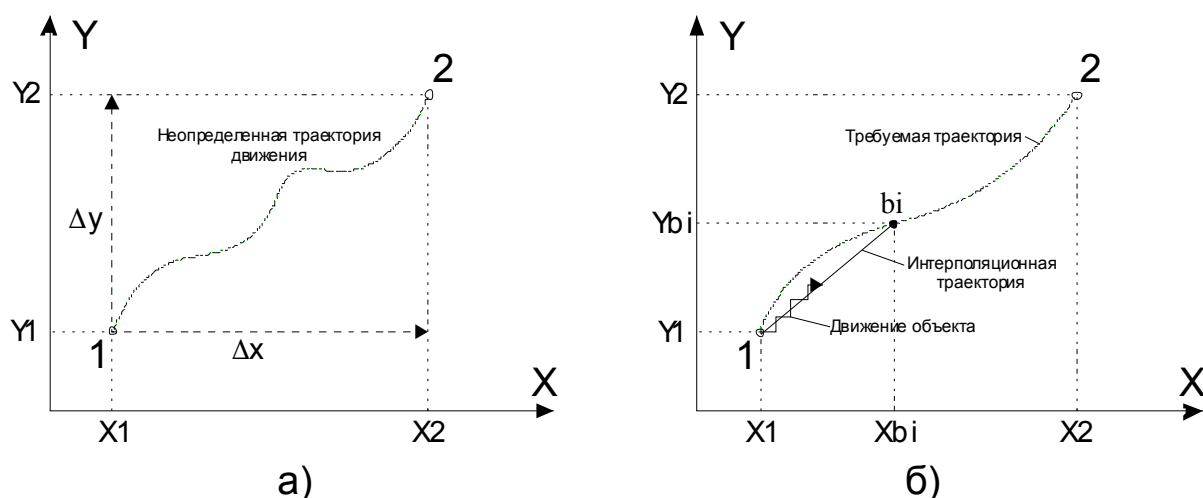


Рис. 235. Позиционное и контурное задание перемещений

Для перемещения объекта из точки 1 в точку 2 его перемещают по координате X на величину $\Delta X = X_2 - X_1$, а по координате Y – на величину $\Delta Y = Y_2 - Y_1$. Эти перемещения могут быть как одновременными, так и последовательными. Их результатом является перемещение объекта из точки 1 в точку 2 по неопределенной траектории.

При контурном задании перемещений движение объекта между точками 1 и 2 должно осуществляться по требуемой траектории. Это движение обеспечивается одновременными взаимосвязанными перемещениями по всем координатам пространства перемещений (рис. 235, б). Требуемая траектория движения разбивается базовыми точками b_i на небольшие отрезки, в пределах которых криволинейная траектория аппроксимируется (с допустимой погрешностью) более простыми зависимостями (линейной или круговой). Движение объекта осуществляется поочередными небольшими шагами вдоль управляемых координат перемещений так, чтобы отклонения от заданной траектории были бы минимальными.

7. По плавности диаграмм скоростей и ускорений:

– движение с «жесткими» ударами (диаграмма скоростей имеет разрывы конечной величины);

- движение с «мягкими» ударами (диаграмма ускорений имеет разрыв конечной величины);
- движение безударное (диаграммы скоростей и ускорений не имеют разрывов).

8. По типу диаграмм ускорений (в качестве примера упомянуты наиболее известные законы):

- гармонический закон изменения ускорений;
- закон движения «постоянное ускорение»;
- закон движения «равноубывающее ускорение»;
- косинусоидальный закон изменения ускорения;
- закон движения «наклонная синусоида»;
- тригонометрический закон Тира;
- закон Шуна.

11 МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

11.1 Задачи моделирования и используемые методы

Задача проектирования производственных систем является эвристической задачей и может иметь множество неравнозначных по степени эффективности решений. При выборе варианта производственных систем можно изменять состав его оборудования, цикл работы, характеристики управления и т.д. В процессе приближения к оптимальному варианту просматривают и сопоставляют различные варианты ГПМ, общее число которых может быть весьма велико. Решить задачу оптимизации производственных систем чисто расчетным путем, как правило, не представляется возможным, и поэтому прибегают к моделированию возможных вариантов ГПМ и к сравнительному изучению их работы на моделях для выбора наиболее эффективного с точки зрения функционирования варианта.

При моделировании работы производственных систем используются математические модели – системы математических выражений, описывающих характеристики таких систем. Построение и исследование этих моделей составляет содержание метода математического моделирования. Разновидностью математического моделирования является имитационное моделирование – численный метод исследования математической модели на ЭВМ с прямой подстановкой в математические выражения численных значений внешних воздействий, параметров и переменных.

При имитационном моделировании производственной системы используется схема с дискретными событиями. При этом процесс функционирования системы во времени отождествляется с последовательностью событий, возникающих в системе в соответствии с закономерностями её функционирования.

Основное назначение имитационного моделирования:

1. Выделение наиболее существенных параметров и оценка их влияния на работу системы, определение «узких мест» производственной системы (технологических, организационных или управленческих факторов, наиболее существенно влияющих на функционирование системы);

2. Изучения влияния на показатели функционирования производственной системы различных организационных, управленческих и технико-экономических изменений;

3. Оценка различных вариантов систем и стратегий управления при поиске оптимальной структуры.

Для моделирования производственных систем используются методы теории массового обслуживания, дискретная оптимизация, сети Петри. Последний метод имеет большие возможности, позволяя отображать параллелизм функционирования производственной системы, асинхронность событий в системе, её иерархичность

сравнительно простыми средствами. В то же время метод отличается наглядностью и легко автоматизируется с помощью ЭВМ.

11.2 Моделирование производственной системы конечным автоматом

Производственная система в целом, её отдельные технологические модули и технологическое оборудование характеризуются набором дискретных состояний и сигналов, т. е. такие системы являются дискретными. В процессе функционирования дискретной системы в ней происходит последовательная смена состояний в соответствии с рабочим циклом. Переход из состояния в состояние инициируется дискретными (логическими) сигналами управления, имеющими смысл: включить – выключить. При описании и исследовании дискретных систем используются соответствующие методы: дискретная оптимизация, ориентированные графы, теория конечных автоматов, сети Петри и др.

Для формализованного описания дискретных систем получил распространение метод конечного автомата. Метод конечного автомата применим для описания дискретных объектов, обладающих следующими свойствами:

- объект управления в каждый момент времени находится в одном из множества возможных для него дискретных состояний;
- переход объекта из состояния в состояние инициируется подачей на его входы логических управляющих сигналов, которые образуют множество входных сигналов объекта;
- текущее состояние объекта характеризуется дискретными (логическими) выходными сигналами, которые формируются датчиками, установленными на объекте и зависят от текущего состояния объекта и его входных сигналов;
- взаимосвязь между входными, выходными сигналами и состояниями объекта описывается логическими выражениями;

- при функционировании объекта происходит смена его состояний в определенной последовательности.

Обобщенным формализованным описанием дискретного объекта является конечный автомат. Конечный автомат – это математическая модель, включающая следующие компоненты описания:

$$A\{X, Y, S, f, \phi\},$$

где $X(X_1, X_2, X_3...)$ – множество входных логических сигналов;

$Y(Y_1, Y_2, Y_3...)$ – множество выходных логических сигналов;

$S(S_1, S_2, S_3...)$ – множество внутренних состояний автомата;

$f: X \cdot S \rightarrow S$ – функция переходов, определяющая новое состояние объекта в зависимости от его предыдущего состояния и входных сигналов;

$\phi: X \cdot S \rightarrow Y$ – функция выходов автомата, определяющая новое значение выходных сигналов в зависимости от текущего состояния автомата и входных сигналов.

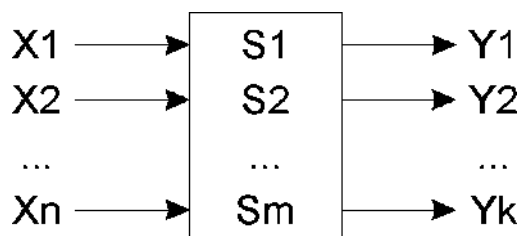


Рис. 236. Конечный автомат

Конечный автомат может быть представлен черным ящиком, на входы которого поступают n логических сигналов X , который может находиться в одном из S_i ($i = 1, \dots, m$) состояний и на выходе которого присутствуют k

логических сигналов Y (рис. 236).

Функцию переходов и функцию выходов конечного автомата можно представить в виде таблиц, пример которых приведен ниже. В строках таблиц указываются входные сигналы, а в столбцах – возможные состояния автомата. Затем в ячейках таблицы переходов записываются новые значения состояний, соответствующие

определенному исходному состоянию и входному сигналу, или значения выходных сигналов в тех же условиях.

F	S			
X	S1	S2	...	Sm
X1	-	S4	...	S7
X2	S7	-	...	S2
...
Xn	S4	S3	...	S4

φ	S			
X	S1	S2	...	Sm
X1	Y1	Y5	...	Y2
X2	Y2	Y3	...	Y4
...
Xn	Y1	Y2	...	Yk

В процессе функционирования объекта описания изменяются состояния последнего, его входные и выходные сигналы. Этот процесс порождает функционирование конечного автомата. Функционирование конечного автомата заключается в смене его состояний и выходных сигналов при смене входных сигналов.

Для графического представления функционирующего автомата используется направленный граф

$$G[V, U, \phi],$$

где $V(V1, V2, V3...)$ – множество вершин графа, отображающих состояния автомата;

$U(U1, U2, U3...)$ – множество звеньев, соединяющих вершины графа и отображающих функцию переходов и функцию выходов автомата;

$\phi : V \times V \rightarrow U$ – функция инцидентности, описывающая связи между вершинами графа.

Функция инцидентности разбивает все множество звеньев на три подмножества: подмножество ребер $\phi(V1, V2) = \phi(V2, V1)$,

подмножество дуг $\phi(V1, V2) \neq \phi(V2, V1)$, подмножество петель $\phi(V1, V1)$.

Ребра графа (связь вершин $V1$ и $V2$) определяют ненаправленные связи, дуги – направленные, а петли (связь вершины 1 с собой) имеют в качестве начала и конца одну и ту же вершину. Если граф не содержит ребер, то он называется ориентированным

Состояния конечного автомата отображаются вершинами графа. Дуги и петли графа отображают изменения входных и выходных сигналов конечного автомата. Вершины графа изображаются в виде окружностей, в которых записывается символическое обозначение соответствующего состояния. Входные и выходные сигналы приписываются звеньям графа. При этом входной сигнал записывается непосредственно над линией, изображающей звено графа, а выходной – в скобках после входного сигнала. Указываются только те сигналы, значение которых изменяется при конкретном переходе между вершинами.

Моделирование дискретного объекта с помощью конечного автомата осуществляется в определенной последовательности:

1. На основе анализа схемно-технических решений объекта и описания его работы выделяются и описываются все возможные дискретные состояния объекта. Формируется множество конечных состояний конечного автомата.

2. Описываются все входные управляющие сигналы объекта, и формируется множество входных логических сигналов конечного автомата.

3. Описываются все выходные логические сигналы объекта, и формируется множество выходных сигналов конечного автомата.

4. Формулируются логические выражения для описания связей между состояниями объекта, его входными и выходными сигналами. Заполняются таблицы, описывающие функции переходов и выходов конечного автомата.

5. Составляется граф функционирования конечного автомата.

Граф функционирования конечного автомата позволяет выявить возникающие при функционировании объекта противоречия, недостаточность или избыточность его сигналов управления и информационных сигналов. На основе графа функционирования разрабатывается алгоритм управления объектом.

Рассмотрим в качестве примера моделирование ГПМ, который характеризуется набором дискретных информационных сигналов, логическими сигналами управления и дискретными состояниями. Модель ГПМ можно представить в виде конечного автомата, для которого составляется граф функционирования. Вершинами графа будут состояния ГПМ, а дугами – условия перехода из состояния в состояние (значения сигналов).

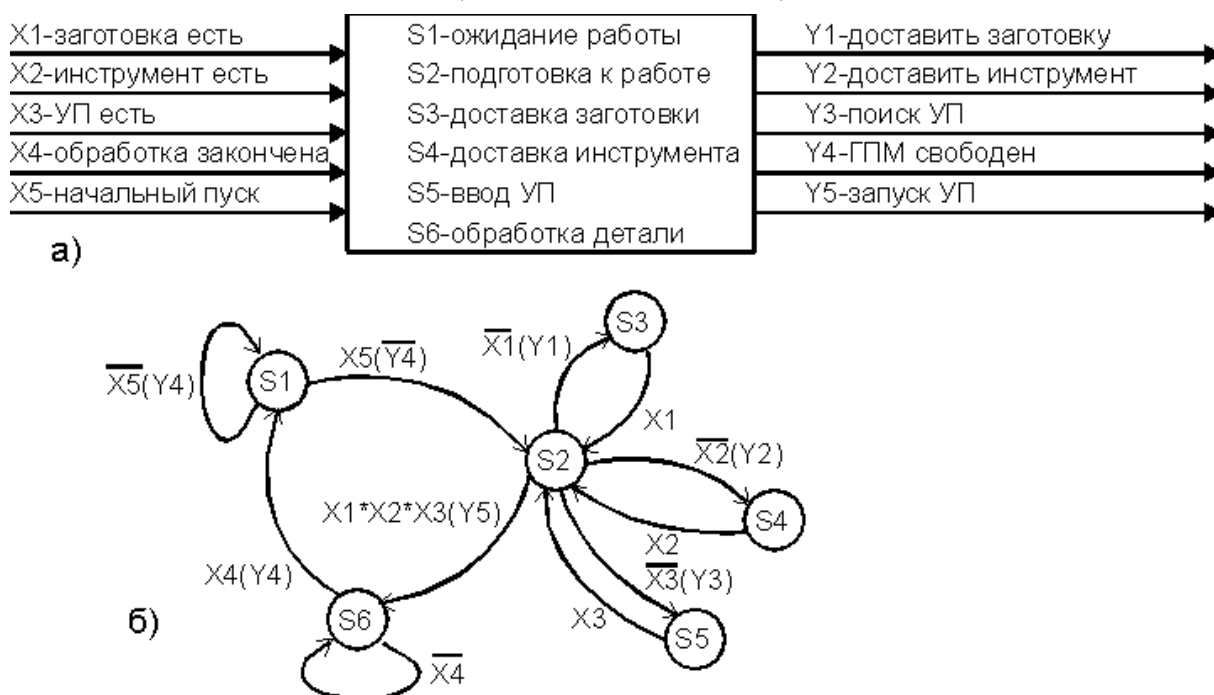


Рис. 237. Формализованная модель ГПМ

На рис. 237, а приведен конечный автомат для описания системы управления ГПМ: X – логические входные сигналы, поступающие от датчиков ГПМ и локальных устройств управления, Y – управляющие команды и выводимые сообщения, S – состояния ГПМ. Функции

переходов и функции выходов конечного автомата отображены на графе функционирования (рис. 237, б).

Дуги графа отображают условия перехода ГПМ из одного состояния в другое и изменяющиеся при переходе выходные сигналы конечного автомата. Граф позволяет наглядно отображать функционирование моделируемого объекта и служит основой для формирования алгоритма управления.

Направленные графы имеют ограниченные возможности отображения свойств дискретных процессов. Более широкими возможностями моделирования дискретных процессов обладают сети Петри.

11.3 Моделирование системы сетью Петри

11.3.1 Основные определения и свойства сетей Петри

Эффективным инструментом моделирования дискретных процессов являются сети Петри – графы специального вида. Их основное достоинство – возможность отображать параллелизм, асинхронность, иерархичность объектов простыми средствами.

При моделировании дискретных процессов необходимо ответить на следующие вопросы: как взаимодействуют отдельные компоненты системы; имеются ли в системе потенциально "узкие" места; могут ли в системе возникнуть нарушения функционирования, сбои, и как можно их локализовать; можно ли упростить систему, заменив ее отдельные компоненты; может ли система выполнять те функции, для которых предназначена. То есть исследователя в первую очередь интересуют структурные характеристики и свойства проектируемого объекта.

Основой сети Петри является понятие условно-событийной системы. Компоненты системы, их состояния и действия представляются абстрактными понятиями, такими как условия и события. Событие может произойти (реализоваться) один раз,

повториться многократно или не произойти ни разу. Для того чтобы событие произошло, необходимо появление ситуации, в которой это событие может быть реализовано. При этом ситуация определяется как совокупность некоторых условий возникновения события. Иначе, событие совершается, если выполнены условия его реализации, определяемые в свою очередь состоянием системы. В результате совершения события происходит изменение условий и наступление постусловий реализации события.

Сеть Петри представляется как набор описаний следующего вида $N = (P, T, F, H, \mu_0)$,

где P – конечное множество состояний p_i (позиций); T – конечное множество событий t_i (переходов из состояния в состояние); $F: P \times T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – функция входных инциденций (отношений связи), отображает связи между позициями и переходами; $H: T \times P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – функция выходных инциденций (отношений связи), отображает связи между переходами и позициями; $\mu_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – начальная маркировка (разметка) сети, определяющая её состояние в начале функционирования.

Графическим выражением сети Петри является ориентированный граф с двумя типами вершин: состояния и события. Дуги графов соответствуют связям состояний и событий. Состояние на графе изображается кружками, а события – вертикальными

черточками (барьерами). Пример элементарной сети Петри приведен на рис. 238, а).

Сеть имеет две позиции p_1 , p_2 и один переход t_1 . Дуги (стрелки) графа отображают связь позиции p_1 с переходом t_1 и перехода t_1 с позицией p_2 . Точка в позиции p_1 использована для маркировки сети. Эта точка

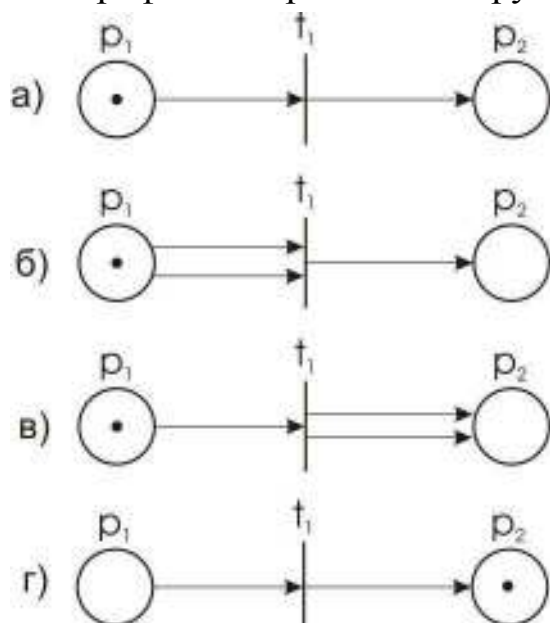


Рис. 238. Элементарная сеть Петри

является маркером (фишкой) и означает, что сеть находится в состоянии, соответствующем позиции p_1 .

Каждая дуга связывает вершины только разных типов: если дуга выходит из позиции, то должна войти в переход и наоборот. Позиции, из которых выходят дуги, направленные к данному переходу, называются его входными позициями. Позиции, в которые входят дуги, исходящие из данного перехода, называются его выходными позициями.

Смена состояний сети Петри (функционирование сети Петри) происходит при свершении (срабатывании) переходов. В элементарной сети при совершении перехода t_1 произойдет смена позиций (состояний сети) $p_1 \rightarrow p_2$. Переход является разрешённым (или возбуждённым) если выполнены условия для его совершения. Условием перехода t_1 в элементарной сети, является нахождение сети в состоянии, соответствующем позиции p_1 .

Условие может иметь емкость: условие не выполнено (емкость равна нулю), условие выполнено (емкость равна единице), условие выполнено с n -кратным запасом (емкость равна n , где n – целое положительное число). На рис. 238, б показан случай, когда для выполнения перехода t_1 необходимо выполнение условия нахождения в позиции p_1 с двукратным запасом. Это обстоятельство отражено присутствием двух дуг, соединяющих вершину p_1 с переходом t_1 .

Соответственно, свершение перехода может обеспечивать условие нахождения сети в определённой позиции с n -кратным запасом (рис. 238, в). Наличие условий для свершения переходов определяется наличием и числом маркеров в позициях сети. Наличие маркера в позиции p_1 на рис. 238, а свидетельствует о том, что переход t_1 разрешён, т.е. может произойти. Разрешённый переход происходит. Переход t_1 в сети на рис. 238, б запрещён, т. к. для него условие p_1 должно выполняться с двукратным запасом (в позиции p_1 должны быть два маркера).

При свершении перехода из входной позиции забираются маркеры в количестве, соответствующем числу входных дуг, и передаются выходной позиции в количестве, определяемом числом выходных дуг (рис. 238, г). При этом состояние сети Петри и её маркировка изменяются.

В общем виде, когда переход связан со своими позициями кратными дугами, правило срабатывания перехода звучит так: при срабатывании перехода t_i он изымает из каждой своей входной позиции столько маркеров, какова кратность дуги, связывающей этот переход с указанной позицией, и добавляет в каждую свою выходную позицию количество маркеров, равное кратности связывающих их дуг.

В качестве примера опишем с использованием сети Петри работу станка. Для станка можно выделить следующие состояния: p_1 – прибыла заготовка; p_2 – станок свободен; p_3 – станок работает; p_4 – деталь обработана. Таким образом, припишем сети Петри множество состояний $P\{p_1, p_2, p_3, p_4\}$. Для станка могут совершаться следующие события: t_1 – началась обработка; t_2 – закончилась обработка. Следовательно, сети Петри можно приписать множество переходов $T\{t_1, t_2\}$.

Вполне естественно, что конкретные состояния станочной системы могут допустить только вполне определенные события и наоборот – определенные состояния могут возникнуть только после определенных событий. Эта взаимосвязь определяется функциями инцидентий. Для описываемого станка зависимость событий от состояний можно описать следующим образом (функция входных инцидентий):

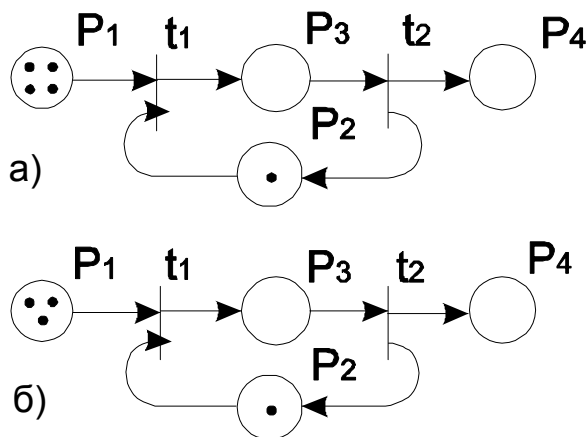
- начало обработки возможно только при наличии заготовки и свободном станке, или $F\{p, t_1\} = \{p_1, p_2\}$;
- окончание обработки возможно только, если станок работал, или $F\{p, t_2\} = \{p_3\}$.

Аналогично опишем зависимость состояний от событий (функция выходных инцидентов):

- состояние «станок работает» возможно, только после совершения события «началась обработка», или $H[t_1, p] = [p_3]$;
- событие «закончилась обработка» влечет за собой переход в состояние «станок свободен» и «деталь обработана», или $H[t_2, p] = [p_2, p_4]$.

Отобразим описанные состояния и события вершинами ориентированного графа, а функции входных и выходных инцидентов представим в виде ребер графа, соединяющих эти вершины (рис. 239, а). Полученный граф изображает сеть Петри, описывающую работу станка.

Если ограничиться приведенными выше моментами, то по изображенному графу нельзя судить о состоянии сети Петри (и, следовательно, моделируемой станочной системы) в данный конкретный момент времени. Для отображения конкретного



состояния сети Петри используется маркировка или разметка. Для разметки применяются маркеры, изображаемые точками.

Маркерами помечают состояния, в которых находится сеть Петри в данный момент (в кружках позиций ставятся точки).

Рис. 239. Сеть Петри для автомата

Пусть рассматриваемая станочная система находится в исходном состоянии, которое характеризуется наличием, допустим, четырех заготовок и готовым к работе станком. Это состояние можно обозначить следующей начальной маркировкой сети Петри $\mu_0 = (4, 1, 0, 0)$. В скобках указаны значения возможных состояний последовательно для p_1, p_2, p_3, p_4 . При этом нулем обозначается

отсутствие данного состояния, а числом – его наличие с имеющимся n -кратным запасом (например, четыре заготовки). Начальная маркировка показана точками (рис. 239, а).

Одновременно в сети Петри возможны не все события, а только те, которые соответствуют наблюдаемому в данный момент времени набору состояний и, следовательно, разрешены. На графическом изображении сети Петри в данный момент времени разрешены те переходы, для которых все входные дуги связаны с маркированными состояниями (на рис. 239, а, разрешен переход t_1 , поскольку для него входные ребра выходят из маркированных состояний p_1 и p_2).

В процессе работы станка состояние станочной системы меняется (расходятся заготовки, появляются обработанные детали и т.д.). Это приводит к смене маркировок сети Петри (рис. 239, б). Последовательность смены маркировок или процесс функционирования сети Петри может быть отображен графом, вершинами которого являются возможные маркировки сети. Такой граф называется графом достижимости сети Петри. Для рассматриваемого примера граф достижимости линейен (рис. 240). В общем случае граф достижимости может иметь сложный разветвленный вид, если в сети Петри одновременно разрешены несколько переходов.

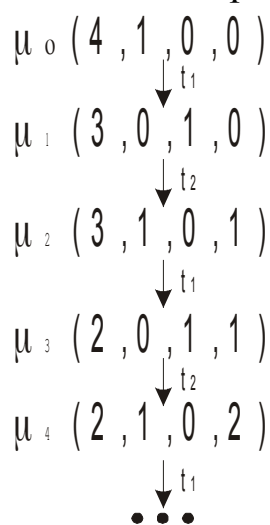


Рис. 240

При функционировании сети Петри возможна ситуация, когда ни один из переходов не разрешен. Это тупиковая ситуация (тупиковая маркировка), которую следует предотвращать для обеспечения работоспособности моделируемой станочной системы. Математическое выражение условия разрешенности перехода t имеет вид

$$M(p) - F(p, t) \geq 0, \forall p \in P.$$

Это условие означает, что в каждой входной позиции перехода t число маркеров должно быть не

меньше веса дуги, соединяющей эту позицию (состояние) с переходом. Символ \forall – квантор общности, значение которого «для всякого ...». Выражение $\forall p \in P$ обозначает «для всякого p , принадлежащего множеству P ».

При срабатывании перехода (совершении события) возникает новая маркировка сети Петри

$$M^1(p) = M(p) - F(p, t) + H(t, p), \forall p \in P,$$

т. е. в результате срабатывания из всех входных позиций перехода t изымается $F(p, t)$ маркеров и в каждую входную позицию добавляется $H(t, p)$ маркеров. В рассматриваемом примере после срабатывания перехода t_1 в первый раз новая маркировка сети Петри будет иметь вид (рис. 234, б).

Пусть задана сеть Петри $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}, T = \{t_1, t_2, t_3\}$.

		t1	t2	t3			p1	p2	p3	p4
F(p,t)=	p2	1	1	0	H(t,p)=	t1	0	1	0	0
	p3	0	2	0		t2	0	0	2	0
	p4	0	1	1		t3	0	0	1	1
	p5	0	0	0						

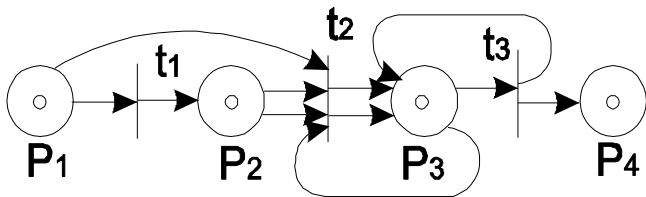


Рис. 241. Пример сети Петри

Изображение этой сети приведено на рис. 241. Оценим разрешенные переходы при начальной маркировке, используя функцию входных инцидентий

$$\mu_0(p)=(1,1,1,1).$$

	p1	p2	p3	p4	
t1	1	0	0	0	Разрешен,
t2	1	2	1	0	Запрещен,
t3	1	0	1	0	Разрешен.

Итак, из исходной маркировки разрешены переходы t_1 и t_3 . Переход t_2 запрещен, поскольку для его осуществления недостаточно маркеров в позиции p_2 (имеется только один маркер, а вес дуги графа, соединяющей p_2 с t_2 , равен двум).

Множество всех маркировок, достижимых из начальной, называется **множеством достижимости сети Петри** и обозначается $R(N)$.

Любая позиция или переход сети могут интерпретироваться как сеть Петри более низкого уровня. Это позволяет организовать многослойные иерархические сетевые структуры.

В сети Петри два возбужденных не взаимодействующих перехода могут сработать независимо друг от друга, поэтому моделям, использующим сети Петри, свойствен параллелизм или одновременность.

В зависимости от топологии сеть Петри называется:

1. **Автономной сетью**, если для каждого $t \in T$ имеется не более одной входной и не более одной выходной позиции, т.е. $|\bullet t| = |t^\bullet| = 1$.

2. **Маркированным графом**, если для каждого $p \in P$ имеется только один входной и один выходной переходы, т.е. $|\bullet p| = |p^\bullet| = 1$.

3. **Сетью свободного выбора**, если для каждого $t_i \in T$ и для каждого $p_i \in \bullet t_i$ позиция p_i является либо единственной входной позицией перехода t_i т.е. $|p_i| = 1$, либо этот переход имеет единственную входную позицию, т.е. $|\bullet t_i| = 1$ (если два перехода имеют общую входную позицию, то эта позиция единственна для каждого из них).

Различают также **простые сети**, в которых любая пара переходов $t_i, t_j \in T$ имеет не более одной общей входной позиции (т.е. $|\bullet t_i \cap \bullet t_j| \leq 1$), и **бесконфликтные сети**, в которых для каждой позиции $p \in P$ существует не более одной исходящей дуги $|p^\bullet| \leq 1$ либо для всех $t \in T$ выполняется условие $t \in \bullet p$ (т.е. любая позиция, являющаяся вход-

ной более чем для одного перехода, является также выходной для каждого такого перехода).

Таким образом, модель в виде сети Петри позволяет проследить развитие событий в реальной моделируемой системе и выявить тупиковые ситуации, которые необходимо избегать. Дальнейшее расширение возможностей применения сетей Петри достигается введением задержки маркера в данной позиции и введением разноцветных маркеров. Задержка маркера в позиции позволяет осуществить временное упорядочение событий моделируемого процесса и получить в результате моделирования привязку событий к конкретному времени, прошедшему с начала функционирования сети. При использовании задержки предполагается, что маркер не может покинуть позицию, в которую он прибыл, ранее, чем по истечении задержки, приписанной данной позиции. Так, после совершения события «началась обработка» в станочной системе и перемещение маркера в позицию p_3 «станок работает» не может немедленно произойти событие «закончилась обработка», т. к. требуется определенное время θ_m на обработку. Этот факт может быть отражен задержкой маркера в позиции p_3 на время θ_m . Следовательно, при определении разрешенных переходов учитывается соотношение времени задержки и времени протекания процесса.

Использование разноцветных маркеров позволяет проследить развитие событий в системе для маркеров с разным физическим смыслом. Так, для станочной системы, обрабатывающей детали разного типоразмера, можно каждому типоразмеру детали присвоить маркер своего цвета. Тогда сеть Петри позволит оценить особенности процесса для каждой детали отдельно.

Степень детализации сети Петри может быть различной. Так, в рассматриваемых выше примерах можно учесть большое число состояний, представить каждое событие в виде сети Петри и т.д. В этом смысле возможности сети Петри велики. Автоматизация

моделирования систем с помощью сетей Петри достигается составлением алгоритмов и программ для расчета и анализа графа достижимости сети.

11.3.2 Пример моделирования ГПМ для обработки валов

Рассмотрим ГПМ для обработки валов, который включает два станка с ЧПУ токарной группы и порталый промышленный робот, обслуживающий эти станки. Предположим, что при обслуживании первого станка робот занят всё время, пока станок работает. Для второго станка робот выполняет только его загрузку и разгрузку. Возможные состояния ГПМ выделим укрупнено: P_1 – наличие заготовки; P_2 – свободен первый станок S_1 ; P_3 – станок S_1 работает; P_4 – свободен промышленный робот ПР; P_5 – станок S_2 работает; P_6 – станок S_2 свободен; P_7 – наличие готовой детали.

Таким образом, множество состояний ГПМ $P\{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7\}$. Учтем следующие события: t_1 – загрузку станка S_1 ; t_2 – загрузку станка S_2 ; t_3 – разгрузку станка S_1 ; t_4 – разгрузку станка S_2 . Следовательно, множество событий (переходов) $T\{t_1, t_2, t_3, t_4\}$.

На основе анализа связи состояний и событий функции входных и выходных инцидентов для модуля можно представить в следующем виде:

$$F(p, t) = \begin{array}{c|cccc} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ \hline P_1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ P_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ P_4 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ P_5 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ P_6 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P_7 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \quad H(t, p) = \begin{array}{c|ccccccc} & P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 \\ \hline t_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ t_3 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ t_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

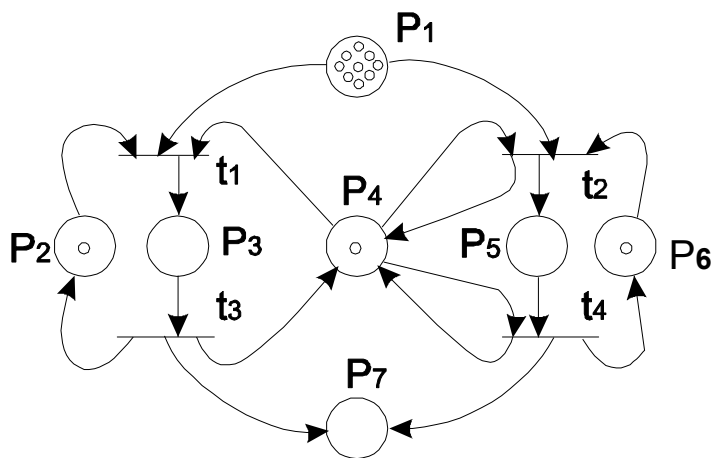


Рис. 242. Сеть Петри для ГПМ

Для начальной маркировки примем $\mu_0(P) = (9, 1, 0, 1, 0, 1, 0)$. Изображение сети Петри для моделируемого ГПМ будет иметь вид (рис. 242). Из начальной маркировки сети возможны переходы t_1 и t_2 . Построим фрагмент

графа достижимости рассматриваемой сети (рис. 243). Если произойдёт переход t_1 , то начнёт работать станок S_1 , а промышленный робот будет занят ожиданием конца работы станка. В этом состоянии возможен только переход t_3 .

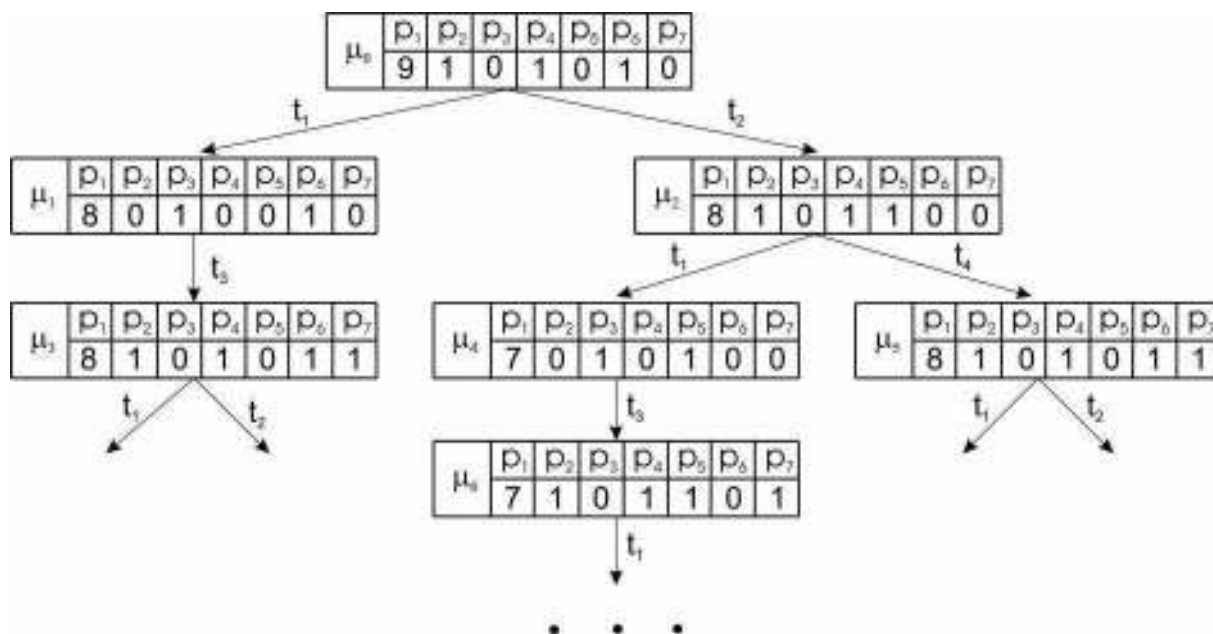


Рис. 243. Граф достижимости сети Петри для ГПМ

Если же в начальный момент времени совершится переход t_2 и начнёт работать второй станок, то освободившийся после загрузки

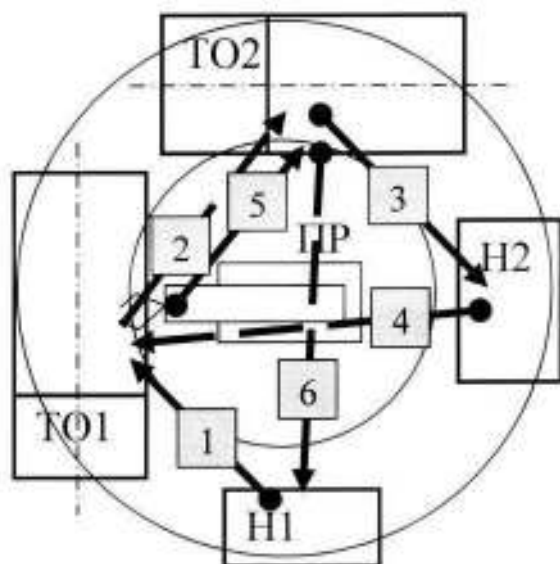
второго станка промышленный робот может приступить к загрузке первого станка, т.е. становится возможным переход t_1 . Все эти переходы и изменения состояний ГПМ хорошо просматриваются на графе достижимости сети Петри.

На основе анализа графа достижимости выбирается требуемый цикл работы ГПМ. Если одновременно в сети возможны несколько событий, то следует для них установить приоритеты. Например, в рассматриваемом случае, если одновременно возможны события t_1 и t_2 (загрузка станков S_1 и S_2), то установка более высокого приоритета события t_2 позволит уменьшить простой станка S_2 , т. к. при первоочередной загрузке станка S_1 робот будет занят до окончания работы и разгрузки S_1 , а станок S_2 все это время будет простаивать.

Основным недостатком графа достижимости является то, что он не связан со временем функционирования моделируемой системы и не позволяет оценить временные затраты как на отдельные элементы рабочего цикла, так и на рабочий цикл в целом. Использование расширения сети Петри с задержкой маркера в позиции позволяет устранить этот недостаток и получить временные характеристики процесса в моделируемой системе.

11.3.3 Пример моделирования РТК

Планировка РТК приведена на рис. 244. Промышленный робот



ПР загружает и разгружает два станка ТО1 и ТО2. В процессе загрузки-разгрузки робот взаимодействует с двумя накопителями Н1 и Н2, предназначенных для заготовок и обработанных деталей.

Промышленный робот ПР (при условии его свободного

Рис. 244. Планировка РТК

исходного состояния и наличия заготовки во входном накопителе Н1) берет заготовку из накопителя и устанавливает ее в патрон станка ТО1 (*траектория 1*). После зажатия заготовки кулачковым патроном станка промышленный робот перемещает руку к патрону станка ТО2 (*траектория 2*) и осуществляет цикл его разгрузки. Он удаляет со станка обработанную деталь и укладывает её в накопитель Н2 (*траектория 3*). После окончания обработки заготовки на станке ТО1, робот перемещает руку в его рабочую зону (*траектория 4*), вынимает деталь из патрона и перемещает её на станок ТО2 (*траектория 5*). После загрузки этого станка робот переходит в исходное состояние (*траектория 6*) и цикл работы РТК заканчивается.

Выделим следующие позиции и переходы для сети Петри:

- Р0 – во входном накопителе РТК есть запас заготовок;
- Р1 – ПР загружает станок ТО1;
- Р2 – ПР свободен и готов к загрузке первого станка;
- Р3 – обработка заготовки на станке ТО1;
- Р4 – станок ТО1 свободен и готов к работе;
- Р5 – ПР свободен и готов разгрузить станок ТО2;
- Р6 – ПР в состоянии транспортирования детали с ТО1 на ТО2;
- Р7 – обработка заготовки на станке ТО2;
- Р8 – станок ТО2 свободен и готов к работе;
- Р9 – ПР в состоянии разгрузки станка ТО2;
- Р10 – ПР свободен и готов к разгрузке станка ТО1;
- Р11 – обработанная деталь в накопителе Н2;
- t1 – заготовка взята из входного накопителя Н1;
- t2 – заготовки загружена на станок ТО1;
- t3 – станок ТО1 разгружен;
- t4 – заготовка загружена на станок ТО2;
- t5 – станок ТО2 разгружен;

t_6 – обработанная деталь помещена в выходной накопитель Н2.

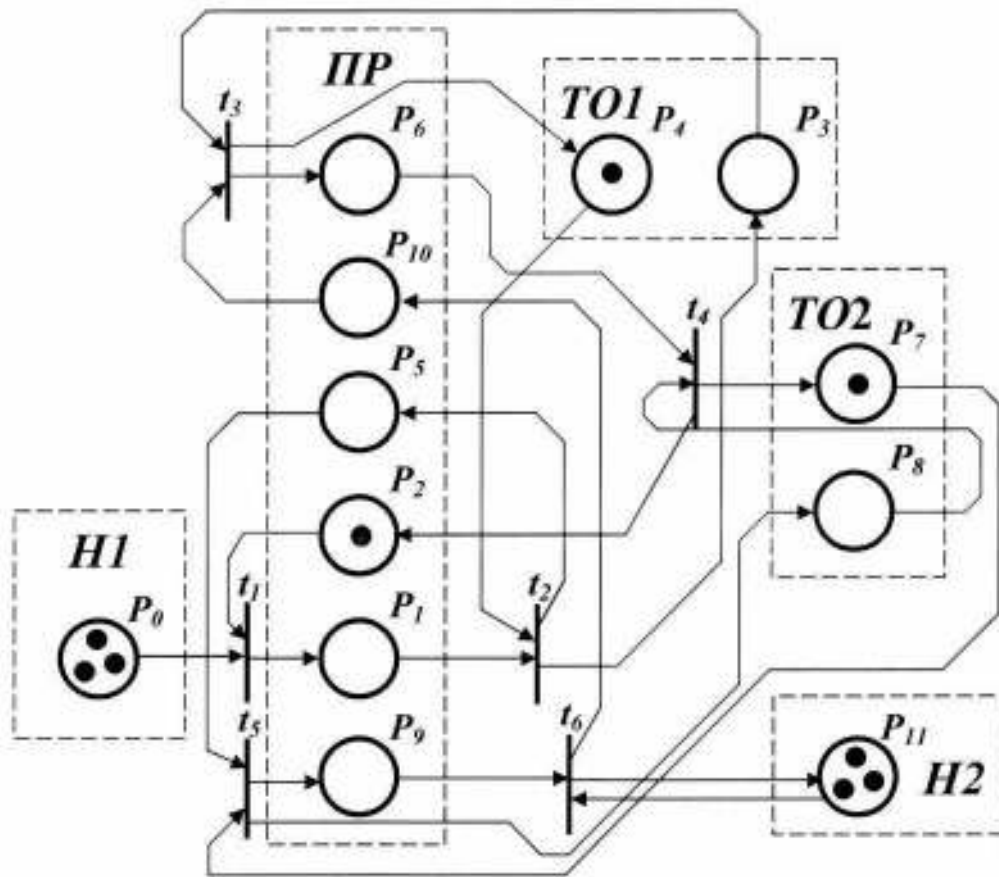


Рис. 245. Сеть Петри для РТК

Сеть Петри, моделирующая рабочий цикл РТК, представлена на рис. 245. Для построения графа достижимости, описывающего возможные варианты функционирования сети Петри, необходимо определить начальную маркировку сети

$$\mu_0\{1,0,1,0,1,0,0,1,0,0,0,1\}$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

и построить матрицы входных и выходных инцидентий F и H :

Граф достижимости можно строить, используя непосредственное отслеживание движения маркеров по сети Петри, или по результатам аналитических преобразований в матричной форме с вычислением составной матрицы изменений D

$$D = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Граф достижимости мы не приводим, укажем только, что, последовательно проходя пять маркировок, сеть Петри приходит в исходное состояние и начинает новый цикл. Таким образом, в сети отсутствуют тупиковые маркировки, следовательно, РТК работоспособен.

11.4 Моделирование системой массового обслуживания

11.4.1 Основы теории систем массового обслуживания

При многономенклатурном производстве в функционирование производственной системы привносится элемент случайности, поскольку возможно появление внеочередного заказа или перечень заказов заранее неизвестен и последовательность работы определяется их поступлением в процессе функционирования системы. Кроме того, на ритмичность работы системы влияют такие факторы как дефицит ресурсов, отказы технологического оборудования и др. Производственный процесс в таких условиях приобретает признаки случайного процесса и этот элемент случайности необходимо учитывать при управлении автоматизированным производством.

Для моделирования функционирования производственной системы в рассматриваемом случае находит применение теория систем массового обслуживания. Производственная система должна изготавливать изделия в соответствии с потоком заказов-заявок. Система состоит из конечного числа единиц оборудования – каналов обслуживания. Обслуживание каждой заявки продолжается некоторое время, после чего канал обслуживания освобождается и снова готов для обслуживания следующей заявки. Заявки поступают одна за другой в некоторые, вообще говоря, случайные моменты времени.

При оценке работы производственной системы необходимо установить зависимость между характером потока заявок, производительностью отдельного канала, числом каналов обслуживания и эффективностью выполнения производственных заказов (заявок).

В качестве характеристик эффективности используются: среднее время простоя каналов обслуживания и производственной системы в целом; среднее время ожидания заявки в очереди; вероятность немедленного обслуживания поступившей заявки, средний процент отклоненных заявок и др. Каждая из этих характеристик даёт представление о пропускной способности (производительности) производственной системы.

Если рассматривать производственную систему как систему массового обслуживания, то процесс её функционирования будет случайным процессом. Этот процесс характеризуется сменой дискретных состояний системы в случайные моменты времени: изменение числа заявок в очереди, изменение числа занятых каналов и т.п. Смена дискретных состояний системы образует поток событий.

Важной характеристикой потока является закон распределения длины промежутка времени между сменой состояний. Часто при анализе систем массового обслуживания рассматривается простейший поток событий (стационарный пуассоновский поток), функция

распределения которого соответствует экспоненциальному закону распределения

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t},$$

где t – текущее время, λ – параметр распределения.

Важной характеристикой системы массового обслуживания является время обслуживания одной заявки $T_{об}$. Эта величина может быть как случайной, так и неслучайной. Чаще всего время обслуживания случайно. Тогда характеристикой времени обслуживания будет функция распределения. Для описания этой функции часто используется закон экспоненциального распределения с плотностью вероятности

$$f(t) = \mu \cdot e^{-\mu \cdot t},$$

где μ – параметр распределения, величина обратная среднему времени обслуживания одной заявки.

При поступлении очередной заявки на обслуживание в систему массового обслуживания (очередной заказ для производственной системы), она становится в очередь и ждёт, пока система не освободится от обслуживания предыдущих заявок. Такие системы массового обслуживания называются системами с ожиданием. На ожидание могут накладываться ограничения: ограничение времени ожидания, ограничение длины очереди и др.

Пусть на вход системы массового обслуживания X с ожиданием, имеющей n каналов обслуживания, поступает простейший поток заявок с параметром λ . Время обслуживания одной заявки $T_{об}$ подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром

$$\mu = \frac{1}{T_{обср}},$$

где $T_{обср}$ – среднее время обслуживания одной заявки.

Заявка, заставшая все каналы системы занятыми, становится в очередь и ожидает обслуживания. Время ожидания ограничено сроком $T_{ож}$. Если в течение этого времени заявка не будет обслужена,

то она отменяется. Пусть $T_{ож}$ величина случайная и распределена по экспоненциальному закону с параметром ν .

В рассматриваемой системе возможны следующие состояния:

x_0 – система свободна, очереди нет;

x_1 – занят только один канал системы;

.....

x_k – занято k каналов, очереди нет;

.....

x_n – заняты все n каналов, очереди нет;

x_{n+1} – заняты все n каналов, одна заявка в очереди;

.....

x_{n+s} – заняты все n каналов, s заявок в очереди.

В принципе такая система может иметь бесконечное множество состояний. Каждое состояние характеризуется вероятностью, описываемой некоторым законом распределения. Плотность p_k вероятности k – того состояния при условии $0 \leq k \leq n$ можно описать уравнением Эрланга

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = \lambda \cdot p_{k-1}(t) - (\lambda + k \cdot \mu) \cdot p_k(t) + (k+1) \cdot \mu \cdot p_{k+1}(t).$$

$$\frac{dp_{n+s}(t)}{dt} = -(\lambda + n \cdot \mu + s \cdot \nu) \cdot p_{n+s}(t) + \lambda \cdot p_{n+s-1}(t) + [n \cdot \mu + (s+1) \cdot \nu] \cdot p_{n+s+1}(t).$$

Похожее дифференциальное уравнение можно составить для $k > n$.

Таким образом, можно получить систему из бесконечного числа дифференциальных уравнений. Поскольку при больших значениях s вероятности становятся пренебрежимо малыми, то число уравнений при решении системы ограничивают. Решение системы уравнений позволяет получить выражения для оценки параметров системы.

Вероятности состояний системы массового обслуживания с ожиданием

$$p_k = \frac{\frac{\alpha^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m \cdot \beta)}} \quad \text{при } 0 \leq k \leq n,$$

$$p_{n+s} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \cdot \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m \cdot \beta)}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m \cdot \beta)}} \quad \text{при } k > n \ (s \geq 1),$$

где $\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \cdot T_{\text{обср}}$, $\beta = \frac{\nu}{\mu} = \nu \cdot T_{\text{обср}}$, $T_{\text{обср}}$ – средняя длительность обслуживания заявки.

Использование этих формул позволяет, например, вычислить среднее число заявок в очереди

$$s_{\text{cp}} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \cdot \alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m \cdot \beta)}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m \cdot \beta)}}.$$

Можно определить и другие параметры системы массового обслуживания: вероятность отклонения заявки, пропускная способность системы и др.

Рассмотрен анализ системы массового обслуживания с ожиданием. Существуют и другие типы систем массового обслуживания, для описания которых применяются свои математические модели, основанные на теории вероятности.

11.4.2 Моделирование систем массового обслуживания

Одним из средств анализа систем массового обслуживания является имитационное моделирование. Наиболее приспособленной для имитационного моделирования робототехнических систем

можно считать общецелевую систему имитационного моделирования GPSS (General Purpose Simulating System – система моделирования общего назначения), являющуюся средством моделирования на ЭВМ дискретных событий. GPSS-система представляет собой совокупность специального понятийного аппарата, машинного языка высокого уровня и соответствующего им системного программного обеспечения.

Важным положительным свойством GPSS-системы является заложенная в ней возможность получения некоторой информации о моделируемой системе автоматически, без специального на то указания со стороны исследователя. Другой особенностью GPSS-системы, обеспечившей ей широкое распространение при моделировании различных систем, является использование понятий, близких к тем, что применяются для описания реальных устройств, процессов, событий и ситуаций.

Развитием системы GPSS является система имитационного моделирования дискретных систем Extend. Extend exemplifies новое поколение систем моделирования. Эта система использует графический интерфейс и позволяет анализируемую модель представлять в виде структурной схемы, которая из типовых блоков конструируется на экране дисплея.

Функционирование модели так же отображается графически, и параметры исследуемой системы наглядно представляются. Можно оценить такие характеристики, как длину очереди, время обслуживания, долю отклоняемых заявок и др. В результате моделирование не требует составления программы на специальном языке, отнимает меньше времени, более наглядно и более удобно для исследователя.

Поскольку систему GPSS можно рассматривать в качестве базовой, и при работе с ней пользователь должен иметь хорошее представление об основах моделирования систем массового

обслуживания, то рассмотрим эту систему подробнее. Полезно иметь в виду, что освоение системы GPSS позволит полнее использовать возможности той же системы Extend.

11.4.3 Система моделирования GPSS

С помощью GPSS можно моделировать взаимодействие объектов двух типов: объектов, предназначенных для выполнения определенного вида обслуживания, и объектов, нуждающихся в таком обслуживании.

Объекты, предназначенные для обслуживания, делятся на два вида: обслуживающие приборы и многоканальные устройства. Объекты, нуждающиеся в обслуживании, формируют требования на обслуживание. В GPSS такие объекты называют заявками.

Обслуживающий прибор характеризуется тем, что он может обслуживать только одну заявку. Обслуживающий прибор может моделировать, например, различное технологическое оборудование или системы, а также функции участвующего в технологическом процессе оперативного персонала.

Многоканальные устройства в отличие от обслуживающего прибора могут обслуживать одновременно несколько заявок. Многоканальное устройство характеризуется числом каналов обслуживания или ёмкостью. При обслуживании заявок может быть занято разное количество каналов.

Заявка может поступить на обслуживание сразу же после ее появления, либо занять очередь на обслуживание, если соответствующий прибор занят обслуживанием другой заявки, либо уйти к другому обслуживающему прибору. После того как заявка поступила на обслуживающий прибор, она занимает его в течение времени, необходимого для ее обслуживания. Заявки могут иметь различный приоритет. Если обслуживающий прибор занят обслуживанием заявки, имеющей более низкий приоритет, чем

приоритет вновь поступившей заявки, то вновь поступившая заявка может осуществить захват обслуживающего прибора.

Таким образом, заявка может занять обслуживающий прибор сразу же после своего появления в двух случаях: если обслуживающий прибор свободен или, если она обладает более высоким приоритетом, чем заявка, обслуживаемая прибором. Обслуживающий прибор может находиться в трех состояниях: свободном, когда он свободен от обслуживания заявок, занятом, когда он обслуживает заявки, захваченном, если прибор захвачен заявкой о более высоким приоритетом.

Очередь представляет собой совокупность заявок, ожидающих обслуживания. Длина очереди характеризует эффективность обслуживания.

Простейшую систему массового обслуживания можно представить в виде обслуживающего прибора, обслуживаемой прибором заявки и очереди заявок на обслуживание

Работу такой системы можно описать следующим образом. Заявки поступают на обслуживание к прибору в случайные моменты времени. Время обслуживания прибором каждой заявки различно и также является случайной величиной. После своего появления заявка либо занимает прибор, если он свободен, либо ожидает обслуживания, образуя очередь.

При исследовании системы массового обслуживания необходимо определить параметры, характеризующие её эффективность: число заявок, поступивших за определенный промежуток времени; среднее время пребывания заявок в очереди; средняя длина очереди; максимальная длина очереди и другие.

Функционирование системы массового обслуживания заключается в перемещении заявок. Функционирование описывается с использованием модельного времени. Для отсчёта модельного времени в системе GPSS имеется таймер.

Изменение состояния системы, связанное с перемещением заявок в дискретные моменты времени и с приобретением ими некоторых новых свойств, называется событием. Характерными событиями будут такие изменения в системе, как появление заявок, начало и конец их обслуживания.

В GPSS модель системы массового обслуживания представляется в виде блок-схемы, которая затем описывается на специализированном языке системы GPSS. Это описание будет



Рис. 246. Блок-схема модели

представлять собой программу моделирования, реализуемую системой GPSS.

При составлении блок-схем в качестве отдельных блоков выделяются определенные действия, совершаемые над обслуживаемыми объектами. В простейшем случае процесс обслуживания заявки можно представить блок-схемой, приведенной на рис. 246. Блок 1 описывает поступление новой заявки, блок 2 – ее присоединение к очереди, (присоединение к очереди может быть и нулевым). Блоки

3 и 4 фиксируют момент, когда заявка переходит в состояние обслуживания и, следовательно, покидает очередь. Блок 5 отражает собой обслуживающий прибор, в нем заявка задерживается на время, необходимое для ее обслуживания. Блок 6 символизирует конец обслуживания, а блок 7 – выход заявки из модели.

Блоки модели GPSS описывают действия над объектами. Для обозначения объекта и выполняемого над ним действия используется отвлеченное понятие – транзакт. Транзакт обозначает, с одной

стороны, заявку, а с другой – выполняемое над ней в модели GPSS действие. Транзакт может находиться в трех состояниях:

- активном, когда он переходит от одного блока модели к другому;
- приостановленном, когда он ожидает момента модельного времени, в который он должен перейти в активное состояние;
- пассивном, когда транзакт заблокирован другой частью (сегментом) модели либо удален из модели.

Таким образом, представленную на рис. 246 имитационную модель можно трактовать как последовательность абстрактных обслуживающих приборов (блоков), в которых перемещаются в определенной последовательности либо хранятся (при задержке) транзакты. В процессе моделирования в модели обычно находится большое число транзактов, однако, в каждый определенный момент модельного времени перемещаться может только один транзакт.

При моделировании реального процесса модель может иметь несколько блок-схем, подобных представленной на рис. 246. Каждая такая схема оформляется как отдельный сегмент имитационной модели. Обязательным сегментом модели является блок-схема, отображающая модельное время. Она состоит из двух блоков (рис.

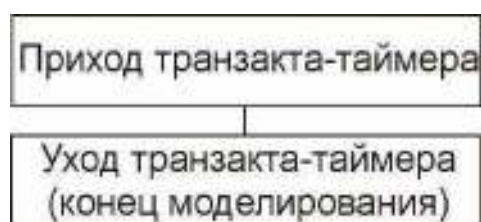


Рис. 247. Таймер

247), первый из них фиксирует появление транзакта-таймера в установленный момент модельного времени, а второй – его удаление из модели. Последнее является признаком завершения процесса моделирования.

Таймер модельного времени может работать в двух режимах: в первом режиме он обеспечивает пошаговое изменение модельного времени от нулевого значения до заданного исследователем. В каждый момент модельного времени программа автоматически проверяет, должно или нет произойти в данный момент событие. Если такое

событие имеется, то программа обеспечивает его выполнение и управление передается таймеру, который увеличивает время на единицу. Если в данный момент события не должно быть, то таймер обеспечивает увеличение значения текущего модельного времени на единицу и т.д.

Во втором режиме программа предварительно определяет момент, в который должно произойти следующее событие, а таймер формирует соответствующее приращение значения текущего времени. В этом режиме таймер принимает только те значения модельного времени, в которые происходят события, что приводит к существенному сокращению машинного времени, необходимого для имитационного моделирования реального процесса.

Ранее отмечалось, что заявки (транзакты) поступают в модель в случайные моменты времени, и время их обслуживания также является случайной величиной. Если пользователь не оговорит особо, то в GPSS по умолчанию применяется равномерное¹ распределение случайных величин. Для выработки случайных (точнее псевдослучайных) чисел в GPSS имеется восемь генераторов случайных чисел, работающих по вполне определенному одинаковому алгоритму.

Процесс моделирования в GPSS-системе можно представить как продвижение транзактов от одного блока модели к другому с задержками в некоторых из них. GPSS-программа всегда стремится продвинуть тот или иной транзакт вперед по блок-схеме. Вначале делается попытка продвинуть транзакт, обладающий более высоким приоритетом или первый в очереди. Такая попытка может быть успешной и транзакт продвинется к следующему блоку блок-схемы либо неудачной, если транзакт оказывается заблокированным. Затем без увеличения абсолютного модельного времени программа пытается продвинуть следующий по приоритету или по порядку следования транзакт. И так до тех пор, пока не будут проверены все транзакты, находящиеся в цепи текущих событий.

После этого таймер продвигает абсолютное модельное время к значению, соответствующему следующему событию, запланированному в будущем. Транзакты, движение которых должно осуществляться в это время, переводятся из цепи будущих событий в цепь текущих событий и программа начинает новый цикл просмотра цепи текущих событий.

Для описания имитационной модели в GPSS используются специальные операторы. Полный формат операторов языка GPSS состоит из четырех полей: поле имени оператора (меток); поле наименования операции; поле операндов (параметров оператора) и поле комментариев.

С помощью операторов описывается блок-схема модели. Задание модели для программы GPSS осуществляется последовательным вводом операторов. На рис. 248 показано использование операторов GPSS для описания блок-схемы модели, показанной на рис. 246. На рис. 248 все операторы представлены в сокращенном виде – приведена лишь та часть оператора, которая отражает выполняемую ими операцию.

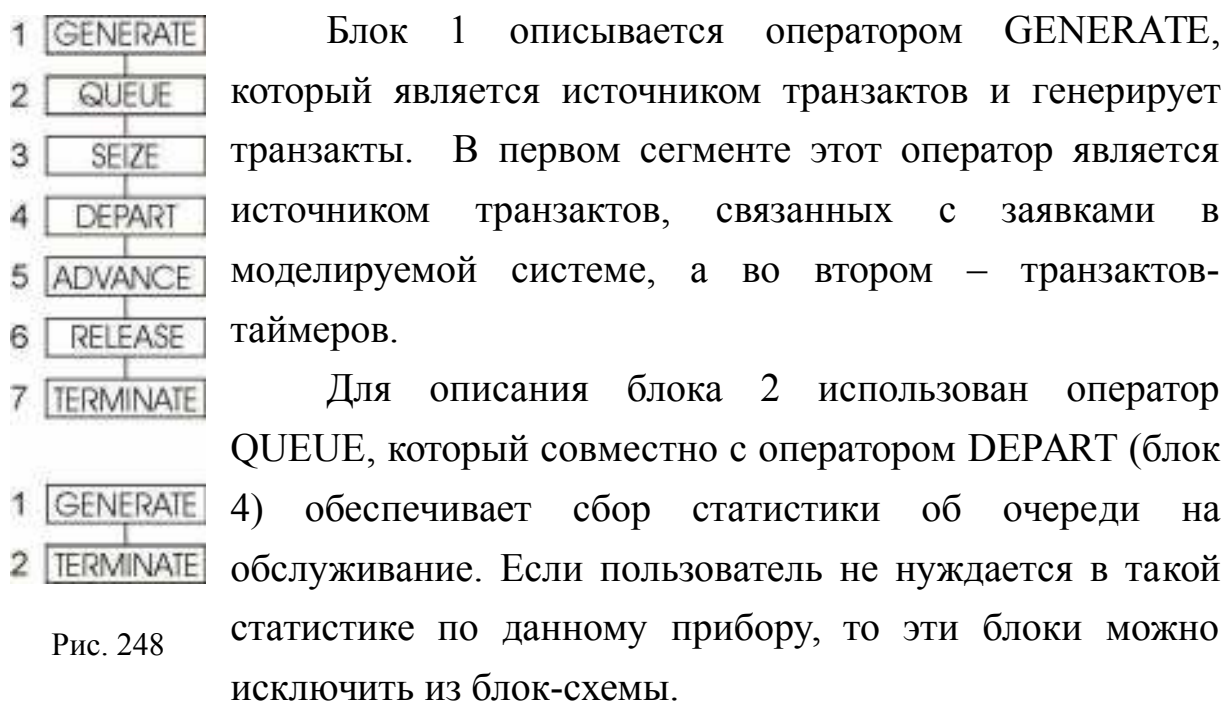


Рис. 248

Блок 3 с оператором SEIZE моделирует занятие транзактом обслуживающего прибора, а блок 6 с оператором RELEASE – освобождение транзактом прибора. Блок 5 с оператором ADVANCE описывает в модели задержку заявки (транзакта) в обслуживающем приборе на время, необходимое для обслуживания. Блок 7 с оператором TERMINATE используется для удаления транзактов из модели после завершения их обслуживания.

Имитационная модель реальной системы массового обслуживания может содержать несколько основных сегментов и обязательно один сегмент для отсчета модельного времени. Сегмент таймера приведен на рис. 248 ниже основного сегмента и состоит всего из двух блоков GENERANE и TERMINATE.

При составлении программы GPSS операторы записываются последовательно в полном формате один под другим. Первая колонка в общем случае не используется. Если в ней помещается символ звездочка (*), то вся строка воспринимается GPSS-программой как комментарий. Затем следует метка оператора не более чем из пяти символов. Метка может отсутствовать. Метка оператору присваивается лишь в том случае, если к нему имеется обращение из других частей программы.

Обязательной частью является название оператора. В качестве названий операций используются английские глаголы, обозначающие основное действие, выполняемое данным оператором: PREEMPT, RETURN, LEAVE, ENTER, STORAGE и др.

После оператора указываются операнды для обозначения объектов операции. Каждому оператору в языке GPSS соответствует вполне определенное максимальное число операндов. Операнды отделяются друг от друга запятыми. В качестве операнда может выступать имя другого оператора, к которому должен обратиться данный оператор; имя функции; числовые константы и т.п.

Все части оператора разделяются пробелами. Ниже рассмотрен пример программы GPSS, который иллюстрирует основные особенности моделирования в этой системе.

Пример. В системе массового обслуживания имеется один обслуживающий прибор и заявки двух видов. Заявки первого вида поступают с интервалом модельного времени 35 ± 5 и длительность их обслуживания составляет 20 ± 4 , а заявки второго вида поступают с интервалом 28 ± 3 и обслуживаются в течение времени 10 ± 2 . Заявки второго вида должны обслуживаться в первую очередь. Для этих заявок необходима статистика. Общее время моделирования должно составлять 2460 единиц модельного времени (41 час реального времени).

На языке GPSS модель системы опишется следующим образом

```
*   сегмент 1
GENERATE 35,5,,,1
SEIZE PR1
ADVANCE 20,4
RELEASE PR1
TERMINATE

*   сегмент 2

GENERATE 28,3,,,2
QUEUE PR1Q
SEIZE PR1
DEPART PR1Q
ADVANCE 10,2
RELEASE PR1
TERMINATE

*   сегмент 3
GENERATE 2460
```

TERMINATE 1

Имя обслуживающего прибора PR1, а имя очереди PR1Q. Сегмент 1 относится к заявкам первого вида, а сегмент 2 – к заявкам второго вида. Сегмент 3 обеспечивает отсчёт модельного времени.

Результаты моделирования в GPSS выводятся в табличной форме. При этом часть информации выдаётся автоматически, а для выдачи другой части необходимы указания программе в виде соответствующего оператора. Пример информационной таблички программы GPSS приведен ниже.

FACILITY	AVERAGE UTILISATION	NUMBER ENTRIES	AVERAGE TIME/TRAN S	SEIZING TRANS NO	PREEMR TING TROES NO
1	2	3	4	5	6
5	0.571	12	643.152	17	--
ABC	0.243	15	164.247	--	48

В колонках таблицы приведена следующая информация:

- 1 – имя (номер) прибора;
- 2 – доля времени, в течение которого прибор был занят;
- 3 – число обслуживаний;
- 4 – средняя продолжительность одного обслуживания;
- 5 – номер транзакта, находящегося (если он есть) в данный момент на обслуживании в приборе;

6 – номер транзакта (если такой есть), который захватил прибор.

При использовании для моделирования системы Extend необходимость написания программы отпадает. Модель в этом случае представляется в графическом виде: структурная схема из отдельных блоков. Для ввода модели используется графический интерфейс. Пример модели системы массового обслуживания для Extend приведен на рис. 249.

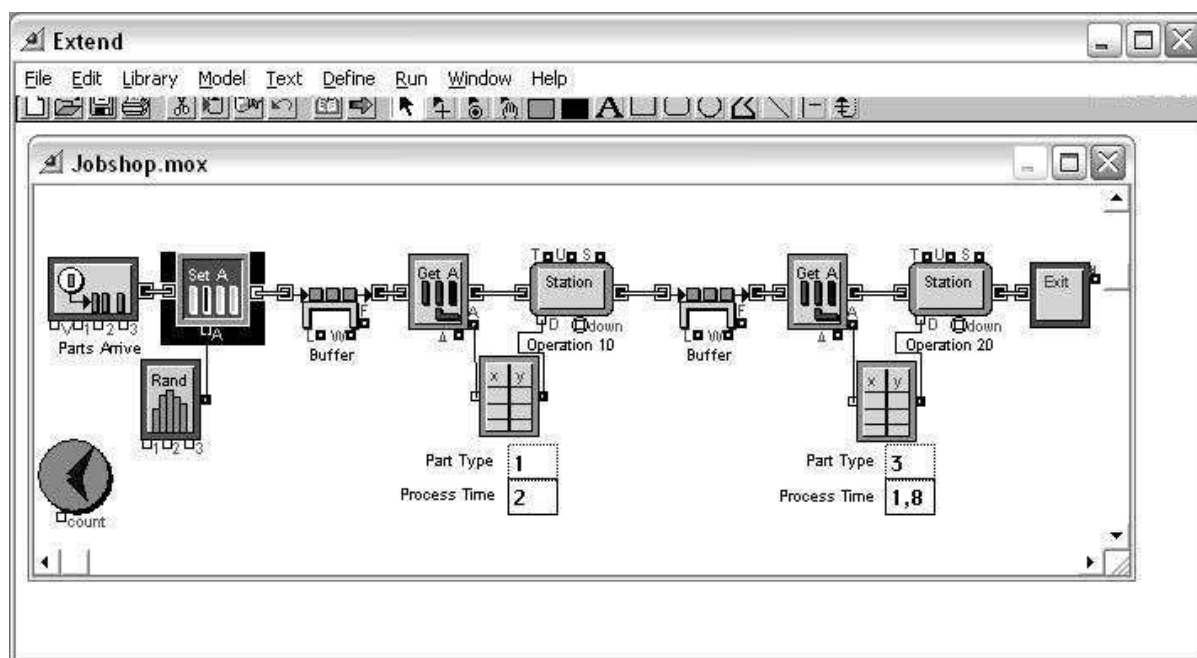


Рис. 249. Модель системы массового обслуживания в Extend

Выполнение моделирования в Extend производится в следующей последовательности:

1. Отбор и загрузка соответствующих библиотек с типовыми элементами блок схем.
2. Выбор в библиотеках и перенос в окно модели нужных для построения модели блоков. Задание параметров блоков с помощью вызова диалоговых окон.
3. Соединение блоков в единую структуру.
4. Запуск модели для симуляции процесса и сбор данных для дальнейшего анализа.

Результаты моделирования в виде числовых данных и графиков выводятся либо непосредственно в окне модели, либо в дополнительных окнах результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное производство объединяет различные виды технологических процессов и является высокоавтоматизированным. В случае массового и крупносерийного производства эффективно использование специализированных средств жесткой автоматизации, дающих в этом случае оптимальное соотношение "производительность – цена". В таких производствах широко используются цикловые технологические автоматы и автоматические линии. Доля массового и крупносерийного производства в общем объеме производства составляет 15–20 %, что собственно, и определяет область применения средств жесткой автоматизации.

Для автоматизации серийного и индивидуального производства необходимы гибкие средства автоматизации. Современные гибкие средства автоматизации представляют собой комплекс механических манипуляционных систем и электронных (или компьютерных) систем управления. Распространение при автоматизации производства получают мехатронные устройства, динамично развивающиеся в современных условиях.

При автоматизации производства приходится решать задачи автоматизации технологических операций, автоматизации загрузки-разгрузки технологического оборудования, автоматизации транспорта, автоматизации технического контроля качества, автоматизации управления производством и ряд других задач.

Для гибкой автоматизации технологических операций используются: оборудование с ЧПУ, промышленные роботы, роботизированные технологические комплексы, гибкие производственные модули. Для автоматизации транспортных и складских операций находят применение автоматизированные

транспортно-накопительные системы, имеющие многочисленные технические решения. Автоматизация управленческого и инженерного труда осуществляется на базе широкого использования компьютерных средств в производстве.

Комплексное использование средств автоматизации производства приводит к созданию гибких производственных систем. Объединение гибких производственных систем с другими автоматизированными производственными системами является основой гибкого автоматизированного производства, резко сокращающего долю человеческого труда в производстве.

Основу гибкого автоматизированного производства составляют концепция гибкой и безлюдной технологии. При внедрении принципов гибкого автоматизированного производства возрастает эффективность использования дорогого технологического оборудования, снижается в два–три раза потребность в таком оборудовании и существенно сокращается (до 20 раз) потребность в оперативном персонале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дащенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий: Учеб. пособие для маш-строит. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1983. – 328 с.
2. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. шк., 1986.
3. Соломенцев Ю.М., Сосонкин В.Л. Управление гибкими производственными системами. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
4. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные системы в химической промышленности: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1990. – 320 с.
5. Гибкое автоматическое производство / В.О. Азбель, В.А. Егоров, А.Ю. Звоницкий и др. – Л.: Машиностроение, 1985. – 454 с.
6. Теория автоматического управления: Учеб. для машиностроит. спец. вузов / В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, С.В. Протопопов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 1999. – 268 с.
7. Мехатроника / Пер. с яп. Е. Исии, И. Симояма, Х. Инауэ и др.. – М.: Мир, 1988. – 318 с.
8. Лукинов А.П., Хомченко В.Г. Расчет и проектирование мехатронных систем: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1999. – 116 с.
9. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – Мир, 1990. – 527 с.

10. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.

11. Хомченко В.Г. и др. Автоматизация технологических процессов и производств / В.Г. Хомченко, А.И. Голобурдин, А.В. Федотов: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1999. – 172 с.

12. Соломин В.Ю., Хомченко В.Г. Моделирование робототехнических систем посредством сетей Петри // Прикладная математика и информационные технологии: Сб. науч. и метод. тр. / Под ред. А.А. Колоколова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005 – С. 98–105.

13. Федотов А.В. Автоматизация управления в производственных системах: Учеб. пособие. – Омск, Изд-во ОмГТУ, 2001. – 368 с.

14. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS / Пер. с англ. – М.: Машиностроение. 1980. – 512 с.

15. Основы автоматизации машиностроительных производств. Учебник / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 1999. – 416 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ.....	7
1.1 Современная концепция автоматизации производства.....	7
1.2 Этапы и средства автоматизации производства.....	12
2 ЖЕСТКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ. ЦИКЛОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АВТОМАТЫ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ.....	21
2.1 Технологические автоматы.....	21
2.2 Автоматические линии.....	36
2.3 Автоматизация загрузки-разгрузки технологических автоматов.....	51
2.4 Автоматизация транспортных операций.....	79
2.5 Автоматизация технического контроля качества.....	92
3 ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ: ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОДУЛИ, ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ, ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА.....	110
3.1. Гибкое автоматизированное производство и гибкие производственные системы.....	110
3.2. Общие принципы проектирования ГПС.....	118
4 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ ГПС.....	120
4.1 Оборудование с ЧПУ.....	120
4.2 Промышленные роботы.....	126
4.3 Роботизированные технологические комплексы.....	161
4.4 Гибкие производственные модули.....	170
5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПМ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ.....	177

5.1 Общие принципы построения ГПМ для механообработки.....	177
5.2 Выбор обрабатывающего оборудования ГПМ.....	180
5.3 Проектирование модулей для обработки тел вращения.....	182
5.4 Модули для обработки тел вращения.....	194
5.5 Проектирование модулей для обработки корпусных деталей.....	197
5.6 Модули для обработки корпусных деталей.....	216
5.7 Управление точностью обработки в ГПМ.....	220
5.8 Проектирование измерительных модулей.....	228
6 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТРАНСПОРТНО- НАКОПИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....	235
6.1 Особенности транспортно-накопительных систем ГПС.....	235
6.2 Автоматизированные склады.....	239
6.3 Автоматизированные транспортные системы.....	257
7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	308
7.1 Понятия, назначение и классификация манипуляционных систем.....	308
7.2 Основы кинематики манипуляционных систем.....	318
7.3 Прямая задача кинематики манипуляторов.....	330
7.4 Планирование траекторий манипуляторов.....	343
7.5 Обратная задача кинематики манипуляторов.....	350
7.6 Планирование траекторий манипулятора на основе сплайн - функций.....	355
7.7 Общие случаи планирования траекторий в пространстве обобщенных координат.....	365
8 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ.....	370

8.1 Назначение и состав АСУ ПС.....	370
8.2 Техническое обеспечение АСУ ПС.....	373
8.3 Математическое обеспечение АСУ ПС.....	378
8.4 Примеры управления производственными системами.....	381
8.5 Распределенные системы управления Allen-Bradley.....	393
8.6 Интегрированные системы проектирования и управления.....	396
9 ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ.....	407
9.1 Типовые компоновки ГПС.....	407
9.2 ГПС гаммы «Талка».....	410
9.3 Примеры зарубежных ГПС.....	415
10 МЕХАТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА.....	420
10.1 Введение в мехатронику.....	420
10.2 Выбор структуры мехатронного устройства.....	428
10.3 Синтез кинематической модели мехатронной системы.....	430
10.4 Классификация типов механического движения....	437
11 МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ.....	441
11.1 Задачи моделирования и используемые методы.....	441
11.2 Моделирование производственной системы конечным автоматом.....	443
11.3 Моделирование системы сетью Петри.....	448
11.4 Моделирование системой массового обслуживания.....	462
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	478
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	480

Учебное издание

Василий Герасимович Хомченко,
д-р техн. наук, профессор

Алексей Васильевич Федотов,
канд. техн. наук, доцент,
профессор кафедры

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие

Редактор С. Г. Восканян

ИД № 06039 от 12.10.2001 г.

Сводный темплан 2005 г.

Подписано в печать 12.12.05. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 30,5. Уч.-изд. л. 30,5.

Тираж 150. Заказ 780.

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр-т Мира, 11
Типография ОмГТУ

