

Е.Э. Фельдштейн  
М.А. Корниевич

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**Е.Э. ФЕЛЬДШТЕЙН, М.А. КОРНИЕВИЧ**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Рекомендовано учреждением образования  
«Республиканский институт профессионального образования»  
в качестве пособия для учащихся учреждений,  
обеспечивающих получение среднего специального образования  
по специальности «Технология машиностроения»*

*Рекомендовано  
Федеральным государственным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве учебного пособия для использования  
в учебном процессе образовательных учреждений,  
реализующих программы среднего профессионального  
образования*

Минск  
«Новое знание»

Москва  
«ИНФРА-М»

2011

УДК 621-52(075.32)  
ББК 34.5-5-05я723  
Ф39

Рецензенты:

цикловая комиссия технологии машиностроения УО «Минский государственный политехнический колледж» (*И.Н. Дегтярев*);  
декан машиностроительного факультета, доцент кафедры технологии машиностроения УО «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук *А.П. Акулич*

**Фельдштейн, Е.Э.**

**Ф39** Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учеб. пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. — Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2011. — 265 с. : ил. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 978-985-475-443-7 (Новое знание)

ISBN 978-5-16-004756-0 (ИНФРА-М)

Рассмотрена автоматизация процессов изготовления деталей, их загрузки, ориентирования, соединения и выгрузки, автоматизированные транспортные системы и системы смены режущих инструментов. Представлены методы контроля и диагностики процесса обработки выпускаемой продукции. Показаны возможности применения промышленных роботов. Рассмотрены некоторые вопросы организации и эксплуатации гибких производственных систем.

Пособие предназначено для студентов специальности 2-36 01 01 «Технология машиностроения» техникумов и технических колледжей, других родственных специальностей. Может быть полезно учащимся профессионально-технических учебных заведений.

**УДК 621-52(075.32)**

**ББК 34.5-5-05я723**

ISBN 978-985-475-443-7 (Новое знание)  
ISBN 978-5-16-004756-0 (ИНФРА-М)

© Фельдштейн Е.Э.,  
Корниевич М.А., 2011  
© ООО «Новое знание», 2011

## Список условных сокращений

АЛ	— автоматическая линия
АПРУ	— автоматизированное погрузочно-разгрузочное устройство
АРКЛ	— автоматическая роторно-конвейерная линия
АРЛ	— автоматическая роторная линия
АСИО	— автоматическая система инструментального обеспечения
АСНИ	— автоматизированная система научных исследований
АСОК	— автоматизированная система обеспечения качества
АСОН	— автоматизированная система обеспечения надежности
АСОПП	— автоматизированная система оперативного планирования производства
АСПР	— автоматизированная система плановых расчетов
АССОО	— автоматизированная система содержания и обслуживания оборудования
АСТПП	— автоматизированная система технологической подготовки производства
АСУ	— автоматизированная система управления
АСУО	— автоматическая система удаления отходов
АСУОП	— автоматизированная система управления организацией производства
АСУП	— автоматизированная система управления предприятием
АСУТП	— автоматизированная система управления технологическими процессами
АТСС	— автоматизированная транспортно-складская система
ГПМ	— гибкий производственный модуль
ГПС	— гибкая производственная система
ГПЯ	— гибкая производственная ячейка
ИРК	— инструментально-раздаточные кладовые
КПП	— контрольно-проверочный пункт
ОТК	— отдел технического контроля
САПР	— система автоматизированного проектирования
СОЖ	— смазывающе-охлаждающая жидкость
УСО	— устройство связи с объектами
ЦИЛ	— центрально-измерительная лаборатория
ЦИС	— центральный инструментальный склад
ЧПУ	— числовое программное управление



# ВВЕДЕНИЕ

Производительность машиностроительного производства обусловлена временем, необходимым для выпуска единицы продукции. Это время складывается из ряда составляющих, среди которых:

- основное время, связанное непосредственно с процессом обработки или сборки изделия;
- вспомогательное время, необходимое для выполнения подготовительных операций (загрузки и выгрузки деталей, быстрых ходов, контроля выполняемых функций и т.д.);
- подготовительно-заключительное время, требуемое для наладки оборудования, монтажа и демонтажа специальных устройств и т.д. (относится к одной детали);
- организационное время, связанное как с техническим обслуживанием оборудования (подналадка, смена и поднастройка инструментов и т.п.), так и с работой оператора (время на отдых и естественные надобности).

Сократить основное время обработки можно путем использования высокоскоростного оборудования, прогрессивных режущих инструментов, новых технологий. Подготовительно-заключительное время на современном этапе развития промышленности может быть сокращено в результате внедрения новейших автоматизированных систем подготовки производства. Средством сокращения вспомогательного и организационного времени является автоматизация производства.

В общем случае под *автоматизацией производства* понимают такой уровень его развития, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Цель автоматизации заключается в повышении эффективности труда, улучшении качества выпускаемой продукции, создании условий для оптимального использования всех ресурсов производства.

Исторически можно выделить несколько уровней автоматизации производства.

Первый уровень автоматизации — *частичная автоматизация* — подразумевает автоматизацию отдельных производственных операций, осуществляемую в тех случаях, когда управление процессами вследствие их сложности или скоротечности практически недоступно человеку и когда простые автоматические устройства эффективно заменяют его. На этом уровне осуществляется автоматизация рабочего цикла технологической машины, т.е. создаются полуавтоматы и автоматы. Следует подчеркнуть, что автоматизируется только одна технологическая операция сборки, обработки или контроля, а также вспомогательные процессы, непосредственно связанные с выполнением основных технологических операций.

В машиностроении наиболее распространены технологические машины с автоматизированным рабочим циклом. В этих автоматах рабочие и холостые ходы повторяются в заданной последовательности, и за каждый рабочий цикл выдается одно обработанное изделие (порция продукта).

На первом уровне автоматизации технологические машины-автоматы и агрегаты образуют независимые модули. Объединить их в производственные системы достаточно сложно, поэтому межмашинное транспортирование деталей, накопление заделов, разделение или соединение потоков деталей при их передаче на очередную операцию осуществляются вручную или с помощью средств механизации. При этом обычно отсутствует единая информационная основа для управления качеством продукции и работой отдельных машин-автоматов, что затрудняет применение автоматизированных систем управления.

Первый уровень автоматизации имеет два подуровня. После разработки отдельных полуавтоматов и автоматов (первый подуровень) переходят к автоматизации систем машин и созданию автоматических линий (второй подуровень). На этом подуровне автоматизации технические решения выходят за рамки конкретных технологических операций, охватывая весь технологический процесс, который представляет собой совокупность операций получения конструкционных материалов, их обработки, сборки и контроля деталей, сборочных единиц, изделий в целом. В этом случае должны быть автоматизированы и процессы, не связанные непосредственно с технологией обработки: доставка к машинам деталей, материалов, технологических сред, транспортирование от машины к машине, накопление

межоперационных заделов, удаление отходов и т.п. Система управления автоматической линией координирует работу технологического и вспомогательного оборудования, а также выполняет функции организационно-экономического характера. Однако все остальные функции производства — организация, проектирование, снабжение, контроль и др. — реализуются как отдельные задачи и никак не связаны между собой.

Второй уровень автоматизации — *комплексная автоматизация* — предусматривает создание групп технологического оборудования, автоматизированных участков, цехов и заводов. Автоматизация этого уровня охватывает совокупность технологических процессов на участке или в цехе с соответствующим усложнением функций транспортирования деталей и складирования изделий, подачи к автоматическим линиям запасных инструментов и обновления технологических сред, удаления отходов производства (особенно усложняются функции автоматического управления и регулирования).

В настоящее время комплексная автоматизация представляет собой систему конструкторских и технологических решений по созданию высокопроизводительного производства, базирующуюся на широком использовании компьютеров и микропроцессорной техники для выполнения технологических и вспомогательных операций.

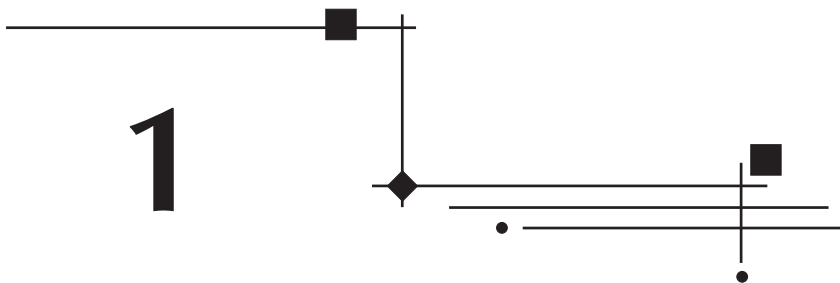
Третий уровень автоматизации — *полная автоматизация* — высшая ступень автоматизации, которая предусматривает передачу всех функций управления и контроля комплексно-автоматизированным производством автоматическим системам управления. Полная автоматизация реализуется в тех случаях, когда производство рентабельно, устойчиво, его режимы практически неизменны, а возможные отклонения могут быть заранее учтены, а также в условиях, недоступных человеку или опасных для его жизни и здоровья.

Полная автоматизация подразумевает кроме использования принципов комплексной автоматизации также разработку и внедрение ряда автоматических систем:

- автоматизированной системы управления предприятием (АСУП);
- автоматизированной системы управления организацией производства (АСУОП);

- автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП);
- автоматизированной системы плановых расчетов (АСПР);
- автоматизированной системы обеспечения качества (АСОК);
- системы автоматизированного проектирования (САПР);
- автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) и др.

Полная автоматизация производства основана на использовании компьютеров и сложного программного обеспечения и характеризуется гибкостью в решении каждой возможной проблемы (выполнение инновационных исследований, подготовка к выпуску новой продукции, размещение заказов, расшивка узких мест и др.). В ее разработке участвуют большие коллективы специалистов — конструкторы, технологи, системотехники, математики, экономисты, программисты и др.



# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

## 1.1. Автоматические станочные линии



Наиболее прогрессивным методом в машиностроении является поточное производство. Оно характеризуется расчленением производственного процесса на отдельные, относительно короткие операции, выполняемые на специально оборудованных последовательно расположенных рабочих местах — *поточных линиях*, при определенном интервале выпуска изделий — *такте выпуска*. В массовом производстве при устойчивом длительном выпуске однородной продукции поток — основная форма организации. В серийном производстве на потоке изготавливаются отдельные узлы и детали, широко применяемые для различных конструкций.

Поточное производство позволяет полнее реализовать пропорциональность, ритмичность и непрерывность выпуска продукции. Благодаря узкой специализации появляются возможности для более полного использования высокопроизводительного

механизированного и автоматизированного оборудования, сокращаются или полностью исключаются простои оборудования, уменьшается доля вспомогательных операций, растет производительность труда.

Высшей формой поточного производства является автоматизированное производство, при котором работа оборудования (агрегатов, аппаратов, установок) происходит автоматически по заданной программе, а рабочий только осуществляет контроль за их работой, устраняет отклонения от заданного процесса, производит наладку и подналадку автоматизированного оборудования.

Различают частичную и комплексную автоматизацию. При частичной автоматизации рабочий полностью освобождается от работ, связанных с выполнением технологических процессов. В транспортных, контрольных операциях при обслуживании оборудования полностью или частично сокращается ручной труд. В условиях комплексной автоматизации технологический процесс изготовления продукции, управление этим процессом, транспортировка изделий, контрольные операции, удаление отходов производства выполняются без участия человека, но обслуживание оборудования производится вручную.

В условия как частичной, так и комплексной автоматизации получили широкое распространение автоматические линии (АЛ), которые строятся по принципу поточных линий и обеспечивают все преимущества поточного производства. **Автоматическая линия** — это комплекс автоматического оборудования, расположенного в технологической последовательности выполнения операций, связанный автоматической транспортной системой и системой автоматического управления и обеспечивающий автоматическое превращение с заданным ритмом исходных материалов (заготовок) в готовое изделие. Рабочий на АЛ выполняет функции наладки, контроля за работой оборудования, загрузки линии заготовками и выгрузки деталей.

По характеру выполняемых работ выделяют линии комплексные, механообрабатывающие, механосборочные, сборочные, штамповочные, сварочные, термические, консервационные, упаковочные и др.

Загрузка, разгрузка и перемещение изделий между рабочими местами осуществляются автоматической транспортной системой. В *жесткой (синхронной)* АЛ изделия загружаются,



разгружаются и передаются от одного рабочего места к другому одновременно или через кратные промежутки времени. При выходе из строя любого станка или механизма все остальные выключаются, и вся линия простаивает.

*Гибкая (несинхронная)* АЛ состоит из самостоятельно работающих станков. Изделия обрабатываются и передаются от станка к станку неодновременно, через межоперационные накопители. В линии предусмотрены межоперационные заделы, поэтому при выходе из строя какого-либо станка все остальные продолжают работать до полного истощения задела или заполнения последующего накопителя.

Линии бывают спутниковые и беспутниковые. В первом случае изделия базируются, обрабатываются и транспортируются на приспособлениях, называемых *спутниками*. Для возврата спутников в начало линии иногда необходимы дополнительные транспортеры.

В зависимости от условий транспортирования изделий с операции на операцию линии делятся на сквозные и несквозные. В *сквозной* линии транспортирование осуществляется через зону обработки, а время передачи с операции на операцию не совпадает полностью со временем обработки. В *несквозной* линии транспортирование осуществляется в два приема: вначале вне зоны обработки вдоль линии, а затем поперек линии в зону обработки. Используются также *ветвящиеся* линии, в которых поток обрабатываемых изделий на той или иной операции делится на несколько, т.е. обработка производится на параллельно действующих станках. В этом случае можно говорить о *многопоточной обработке*.

Для расширения номенклатуры обрабатываемых деталей используются *переналаживаемые* линии.

Классификация автоматических линий по конструктивно-компоновочным признакам приведена на рис. 1.1.

В состав АЛ входят:

- автоматическое оборудование (станки, агрегаты, установки и т.д.) для выполнения технологических операций;
- механизмы для ориентировки, установки и закрепления изделий на оборудовании;
- устройства для транспортировки изделий по операциям;
- машины и приборы для контроля качества и автоматической подналадки оборудования;



Рис. 1.1. Конструктивно-компоновочные признаки автоматических линий

- средства загрузки и разгрузки заготовок и готовых деталей на линии;
- аппаратура и приборы системы управления;
- устройства смены инструмента и оснастки;
- устройства удаления отходов;
- устройства обеспечения необходимыми видами энергии (электричество, пар, инертные газы, сжатый воздух, вода, масло, канализационные системы);
- устройства обеспечения смазочно-охлаждающими жидкостями и их удаления и т.д.

В состав АЛ последнего поколения входят также электронные устройства:

- «умные» супервизоры<sup>1</sup> с мониторами на каждой единице оборудования и на центральном пульте управления. Они заблаговременно информируют персонал о ходе процессов в отдельных агрегатах и системе в целом и дают рекомендации о необходимых действиях в нештатных ситуациях (например, негативная тенденция технического параметра агрегата; информация о заделах и количестве заготовок; информация о браке и его причинах и т.д.);
- статистические анализаторы с графопостроителями, предназначенные для статистической обработки разнообразных параметров работы АЛ (время работы и простоев; причины простоев; количество выпускаемой продукции (всего, уровень брака); статистическая обработка каждого параметра обрабатываемого изделия на каждой автоматически контролируемой операции; статистическая обработка выхода из строя систем каждой единицы оборудования и линии в целом и т.д.);
- диалоговые системы селективной сборки, при использовании которых обеспечивается сортировка фактических размеров сравнительно неточно обработанных деталей, входящих в сборочную единицу (сочетание подобранных размеров обеспечивает высококачественные параметры сборочной единицы).

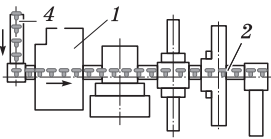
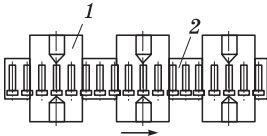
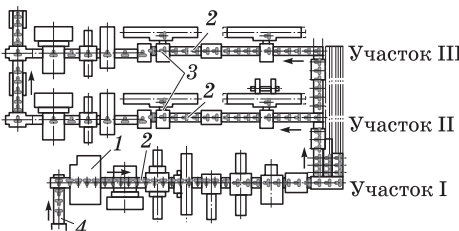
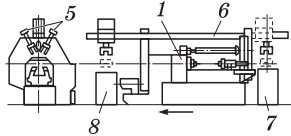

Примеры компоновки автоматических линий для обработки типовых деталей приведены в табл. 1.1.

---

<sup>1</sup> Супервизор — программа управления задачами, предназначенная для наблюдения и управления всеми задачами в системе управления (процессом обработки, памятью и работой оборудования).

Таблица 1.1

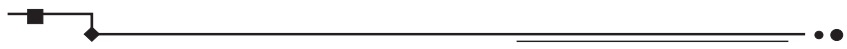
**Схемы компоновки автоматических линий для обработки типовых деталей**

Назначение и характеристика	Компоновка и эскиз
Короткая жесткая однопоточная сквозная линия из 3...5 агрегатных станков для обработки корпусных деталей с 1...5 сторон	
Жесткая линия для обработки валов с поперечным расположением оборудования и сквозной зоной прохождения транспортного потока	
Ветвящаяся гибкая многопоточная линия для комплексной обработки корпусных деталей с накопителями между участками, сквозная и несквозная на отдельных участках	
Линия для обработки валов с коротким циклом обработки, фронтальным расположением оборудования, верхним транспортированием и загрузкой в рабочую зону двуруким автооператором	
Жесткая комплексная несквозная линия для обработки несложных зубчатых колес при относительно больших программах выпуска	

**Обозначения:** 1 — станок; 2 — межоперационный транспортер; 3 — транспортное устройство подачи заготовок в рабочую зону; 4 — накопитель; 5 — автооператор; 6 — порталное устройство; 7 — подводящий транспортер; 8 — отводящий транспортер; 9 — накопитель заготовок; 10 — накопитель готовой продукции; 11 — загрузочно-разгрузочное устройство.

Следует отметить, что традиционные автоматические станочные линии имеют ряд недостатков, среди которых весьма высокая трудоемкость, а иногда и невозможность переналадки линии на другую обрабатываемую деталь, вынужденные простои работоспособных станков из-за неполадок одного станка или вспомогательного оборудования, использование специальных режущих инструментов и оснастки и др.

## 1.2. Роторные и роторно-конвейерные линии



*Автоматическая роторная линия (АРЛ)* — это комплекс рабочих машин, транспортных устройств, приборов, объединенных единой системой автоматического управления, в котором заготовки одновременно с обработкой перемещаются по дугам окружностей совместно с воздействующими на них инструментами. Наиболее распространены АРЛ для операций, выполняемых посредством линейного рабочего движения (штамповка, вытяжка, прессование, сборка, контроль).

АРЛ состоят из рабочих роторов и транспортных роторов, передающих заготовки с одного рабочего ротора на другой. *Рабочий ротор* представляет собой жесткую систему, на которой монтируется группа орудий, равномерно расположенных вокруг общего вращающего систему вала. Необходимые рабочие движения сообщаются этим орудиям исполнительными органами; для малых усилий применяются механические органы, для больших — гидравлические (например, штоки гидравлических силовых цилиндров). Инструмент, как правило, монтируется в блоках, предварительно налаживаемых вне рабочих машин и сопрягаемых с исполнительными органами ротора преимущественно осевой связью, что обеспечивает возможность быстрой замены блоков. Пример обработки детали на АРЛ с использованием комплекта инструментов показан на рис. 1.2.

*Транспортные роторы* принимают, транспортируют и передают изделия. Они представляют собой барабаны или диски,

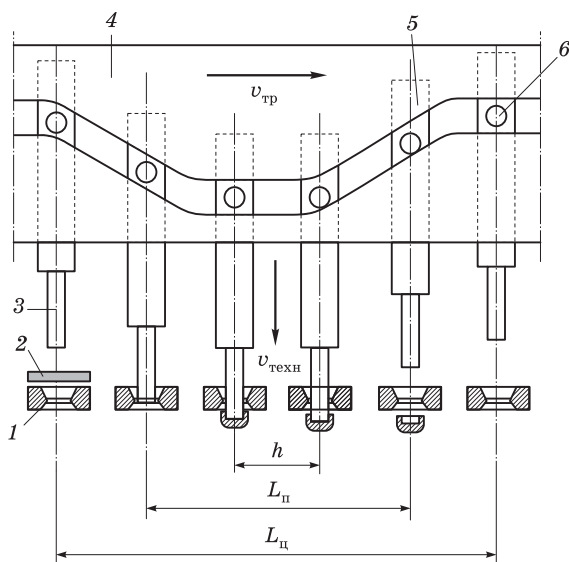


Рис. 1.2. Схематическая развертка прессовой операции на роторной линии:

1, 3 — инструменты (матрица и пуансон); 2 — предмет обработки; 4 — пазовый копир; 5 — ползун; 6 — ролики ползунов;  $h$  — шаг между предметами обработки;  $L_{\text{п}}$  — длина пути обработки;  $L_{\text{ц}}$  — цикловой путь инструмента;  $v_{\text{тр}}$  — транспортная скорость;  $v_{\text{техн}}$  — технологическая скорость

оснащенные несущими органами. Чаще применяются транспортные роторы, имеющие одинаковую скорость транспортирования, общую плоскость транспортирования и одинаковую ориентацию предметов обработки. Для передачи изделий между рабочими роторами с различными шаговыми расстояниями или различным положением предметов обработки предназначены транспортные роторы, которые могут изменять угловую скорость и положение в пространстве транспортируемых предметов.

Рабочие и транспортные роторы соединяются в линии общим синхронным приводом, перемещающим каждый ротор на один шаг за время, соответствующее такту работы линии.

Для сокращения числа роторов в линии роторный автомат питания может быть совмещен с транспортным или рабочим ротором, а при технологических процессах с малым числом операций (3...6) роторные линии и роторный автомат питания можно компоновать на одном валу с общим приводом в несколько ярусов.



На рис. 1.3 представлена многоярусная роторная линия, где из встроенного бункера 1, который вращается вместе с роторами, заготовки попадают в лотки-магазины 2, а оттуда под действием собственного веса поступают по одной в рабочую зону (рабочую головку) 3 операционного ротора 4, где осуществляется первая операция. Из лотка 5 детали поступают в лоток 6, откуда они поштучно подаются на вторую операцию в рабочий орган 10 ротора 9. Далее процесс повторяется, и из лотков-магазинов 11 детали попадают для следующей операции к рабочим головкам и далее. Роторы 4, 9 и 14 связаны между собой анкерными связями 13 и приводятся во вращение от вала ротора 16, который связан фланцем 18 с ротором 4. Роторный вал сидит на подшипниках 17, которые установлены на неподвижной трубе 15, несущей на своей поверхности ряд кулачковых механизмов, обеспечивающих технологические движения рабочим органам 7, 8 и 12 рабочих головок роторов.

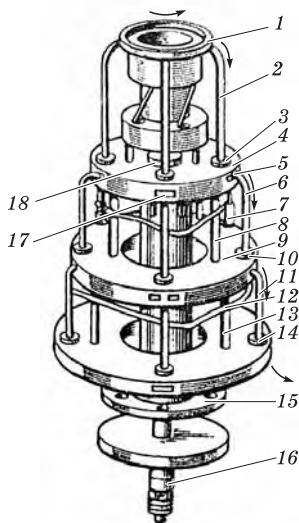


Рис. 1.3. Многоярусный роторный автомат

В многоярусных линиях передача деталей от ротора к ротору осуществляется за счет ускорения свободного падения, при этом не требуются транспортные роторы и сохраняется ориентация

деталей. Каждая рабочая головка любого ротора имеет свой магазин в виде лотка строго определенной длины, что обеспечивает надежность питания отдельных роторов линии.

**Автоматические роторно-конвейерные линии (АРКЛ)** включают несколько роторных машин, соединенных между собой транспортными роторами и конвейерами и работающих в едином рабочем цикле, а также системы привода и управления (рис. 1.4).

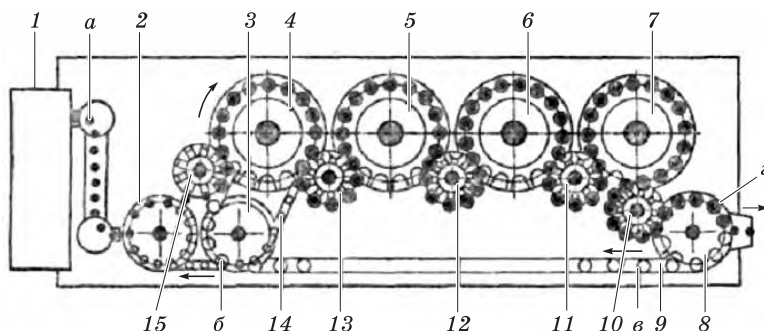
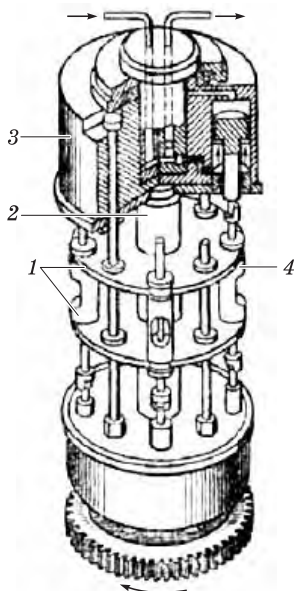


Рис. 1.4. Схема роторно-конвейерной линии для литья термопластов под давлением:

*а* — заготовки; *б* — инжекционный цилиндр; *в* — пресс-форма; *г* — изделие; 1 — бункер; 2 — ротор дозирования; 3 — ротор смыкания пресс-форм; 4 — ротор инжекции; 5, 6 — роторы охлаждения; 7 — ротор размыкания пресс-форм; 8 — ротор съема изделий; 9, 14 — конвейеры возврата пресс-форм и инжекционных цилиндров; 10...13, 15 — транспортные роторы

На каждой роторной машине выполняется определенная операция процесса, реализуемого в АРКЛ. Такая машина состоит из ротора, закрепленного на валу, систем исполнительных органов, держателей для крепления инструментальных блоков и блоков технологической оснастки, расположенных по окружности ротора (рис. 1.5). При необходимости в машине может выполняться автоматический контроль состояния инструмента (например, его износа) и (или) качества выполнения операции (например, определяется масса изделия, его характерные размеры и т.п.); при выявленных нарушениях производится соответственно замена инструмента или отбраковка изделия.

Транспортные роторы служат для передачи объектов обработки от одной роторной машины к другой и представляют собой систему



*Рис. 1.5.* Технологическая роторная машина с гидравлическим приводом исполнительных органов:

1 — держатели инструментальных блоков; 2 — вал; 3 — ротор с блоком исполнительных органов (гидроцилиндров); 4 — блок технологической оснастки

манипуляторов, оснащенных захватными устройствами, которые перемещают изделия в горизонтальной плоскости, а при необходимости и вертикально.

Привод исполнительных органов АРКЛ может быть механическим (осевое усилие на инструмент до 20 кН) или гидравлическим (до 160 кН).

Оптимальный эффект использования АРКЛ достигается, если операции выполняются при простом осевом перемещении инструмента, а объект обработки имеет небольшие размеры. Для АРКЛ характерна независимость производительности от продолжительности обработки объекта, поскольку первая определяется рабочим циклом линии, а вторая — суммарной длиной пути, проходимого объектом при обработке в различных роторных машинах, который функционально не связан с указанным циклом.

В АРКЛ, в отличие от технологических роторных автоматов и автоматических роторных линий, после выполнения операций происходит отделение технологических орудий от исполнительных органов: орудия передаются в гнезда цепного конвейера, который огибает роторы и в соответствующих зонах вновь вводит инструмент в контакт с исполнительными органами. Это позволяет уменьшить габариты роторных машин, упростить обслуживание инструмента.

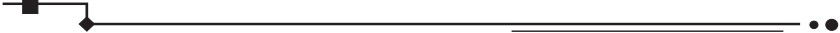
АРКЛ могут производить одновременно несколько изделий разных типоразмеров небольшими партиями, при этом осуществляется определенная маршрутизация объектов обработки в технологических и транспортных роторах.

На АРЛ и АРКЛ можно выполнять операции, значительно различающиеся по продолжительности, например прессовые, контрольные, термические и химические. АРЛ и АРКЛ могут одновременно обрабатывать несколько различных изделий. Такие многономенклатурные линии могут применяться в немассовых производствах.

Применение АРЛ и АРКЛ наиболее рационально в производстве с непродолжительными технологическими процессами и при изготовлении относительно простых предметов, имеющих форму тел вращения. Производительность линии определяется транспортной скоростью ротора и шаговым расстоянием между изделиями в роторе. По сравнению с отдельными автоматами не роторного типа применение АРЛ и АРКЛ сокращает производственный цикл (в 10...15 раз); значительно уменьшает межоперационные запасы заготовок (в 20...25 раз); высвобождает производственные площади; в несколько раз снижает трудоемкость изготовления и себестоимость продукции; капитальные затраты на изготовление такой линии окупаются за 1...3 года.

Следует указать и основной недостаток роторных линий: они проектируются лишь под «жесткое» массовое производство, так как почти не поддаются переналадке при переходе на выпуск другого изделия. В современном машиностроении легкость переналадки — основное требование, поэтому роторные линии используются преимущественно в производстве комплектующих элементов (метизов, шпонок, распорных колец и т.п.).

### 1.3. Станки с ЧПУ и гибкие производственные модули



Повышение нестабильности рынка, усиление конкурентной борьбы за потребителя, практически неограниченные возможности научно-технического прогресса привели к частой сменяемости выпускаемой продукции. Главным фактором в конкурентной борьбе стал фактор времени. Предприятие, которое может за короткий срок довести идею до промышленного освоения и предложить потребителю высококачественный и относительно дешевый товар, становится победителем.

Быстрая сменяемость продукции и необходимость снижения цены при высоком качестве приводят к противоречию. С одной стороны, низкие производственные издержки (при прочих равных условиях) обеспечиваются применением автоматических линий и специального оборудования. С другой стороны, проектирование и изготовление такого оборудования нередко занимает более двух лет, т.е. к моменту начала выпуска изделия оно может морально устареть. Применение же универсального (неавтоматического) оборудования увеличивает трудоемкость изготовления, т.е. цену, продукции.

Такая ситуация возникла в 1960-х гг. и, естественно, перед станкостроительными фирмами встала задача создания нового оборудования, которое бы удовлетворяло следующим требованиям:

- гибкость, т.е. легкая переналаживаемость с одной детали на другую;
- возможность автоматизации;
- автоматическое изменение условий работы по команде управляющей вычислительной машины;
- встраиваемость в автоматические линии и комплексы;
- высокая точность обработки;
- высокая надежность;
- автоматическая подналадка (корректировка) положения инструмента в процессе выполнения операции и т.д.

В настоящее время к оборудованию, отвечающему перечисленным требованиям, относят:

- станки различных типов (токарные, фрезерные, шлифовальные) с системой числового программного управления (ЧПУ) и многоцелевые станки, имеющие магазины со 100 и более инструментами, с точностью позиционирования изделия относительно инструмента 0,25 мкм, «умными» супервизорами функционирования всех систем, активным контролем и автоматической подналадкой инструмента;

- промышленные роботы с программным управлением как универсальное средство манипулирования деталями, а также переналаживаемые роботы — маляры, сварщики, сборщики и т.д.;

- универсально-транспортные погрузочно-разгрузочные средства;

- лазерные раскройные установки с ЧПУ, заменяющие сложнейшие комплексы холодной штамповки, которые сами определяют оптимальный раскрой материалов;

- термические многокамерные агрегаты, где в каждой из камер производится термическая или химико-термическая обработка по заданной программе;

- высокоточные координатные измерительные машины с программным управлением;

- лазерные бесконтактные измерительные устройства и т.д.

На базе перечисленного оборудования были созданы вначале гибкие производственные модули, затем — гибкие производственные ячейки (комплексы) и линии, гибкие производственные участки, цехи, производства, заводы.

**Гибкий производственный модуль** (ГПМ) представляет собой сложную систему, состоящую из следующих элементов:

- токарный станок с ЧПУ, токарный или сверлильно-фрезерно-расточный многоцелевой станок;

- промышленный робот либо иное устройство для выполнения операций загрузки-выгрузки заготовок (деталей);

- система управления;

- накопитель заготовок и деталей, как правило, в ориентированном положении;

- контрольно-диагностические средства — устройства контроля состояния инструмента, автоматической привязки инструмента к системе координат, измерения деталей на станке или вне его;

- устройство автоматизированной очистки зоны обработки и удаления отходов.



Дополнительно может быть предусмотрено использование:

- промышленного робота или манипулятора для замены режущего инструмента, зажимной или инструментальной оснастки, захватных устройств основного робота;
- накопителя режущих инструментов;
- накопителей зажимной или инструментальной оснастки, а также захватных устройств основного робота;
- накопителя бракованных деталей;
- устройства для кантования изделий;

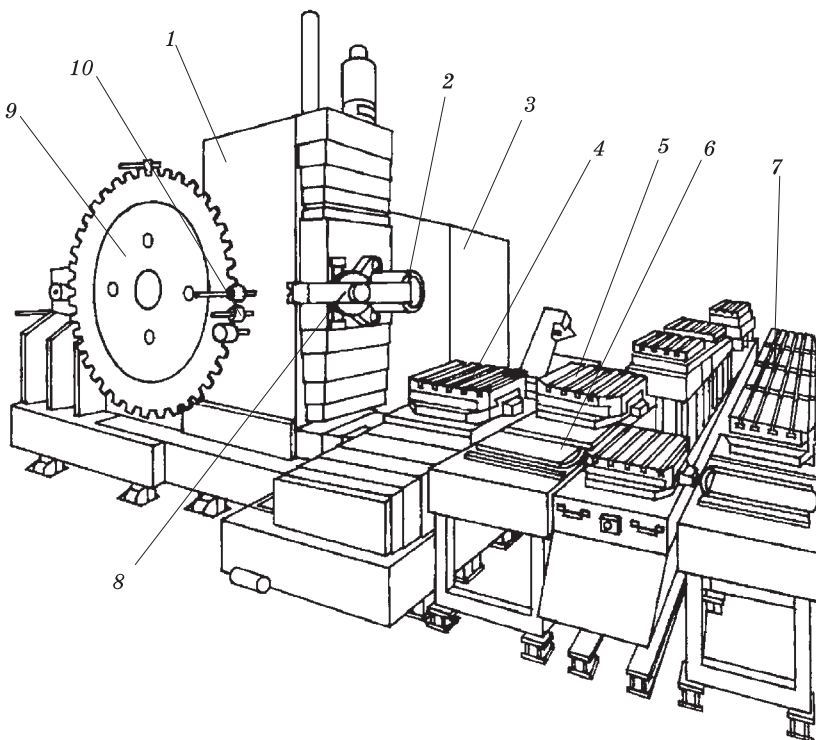


Рис. 1.6. ГПМ для обработки корпусных деталей:

1 — многоцелевой станок; 2 — горизонтальный шпиндель; 3 — система управления; 4 — стол с закрепленной палетой; 5 — палета для размещения заготовок; 6 — устройство для смены палет; 7 — магазин палет; 8 — авто-оператор для смены инструментов; 9 — дисковый магазин режущих инструментов; 10 — инструменты в магазине

- устройства входного контроля состояния заготовок.

Возможности ГПМ сверлильно-фрезерно-расточной группы расширяются путем использования различного количества осей обработки, типов столов и т.п. (см. рис. 2.12 и 2.13, с. 51).

На рис. 1.6 показан ГПМ для обработки корпусных деталей с дисковым инструментальным магазином, на рис. 1.7 — токарный ГПМ, обслуживаемый порталным промышленным роботом, а на рис. 1.8 — шлифовальный ГПМ. Емкость магазинов заготовок в таких ГПМ должна обеспечивать работу без участия оператора в течение как минимум одной смены.

Более подробно станки с ЧПУ и ГПМ будут рассмотрены в гл. 2.

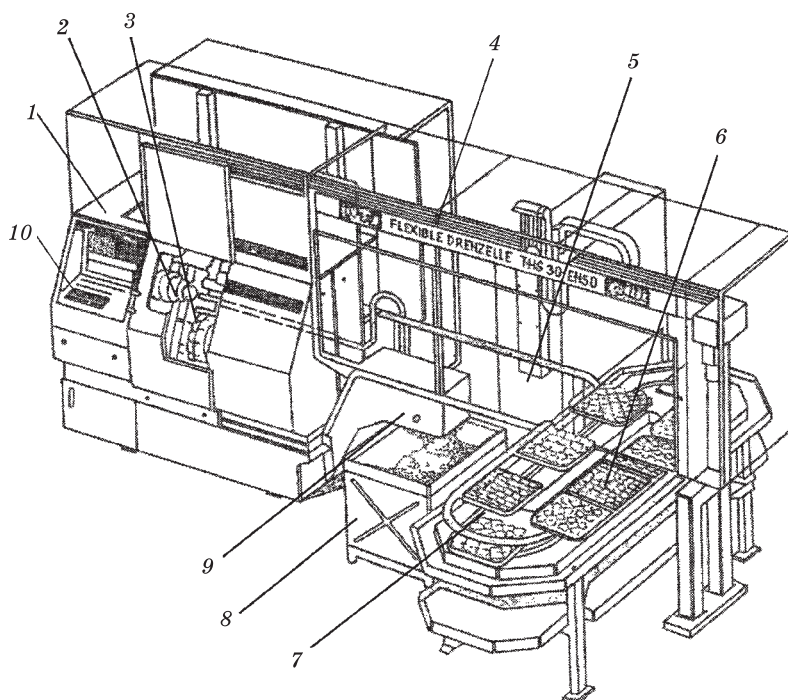
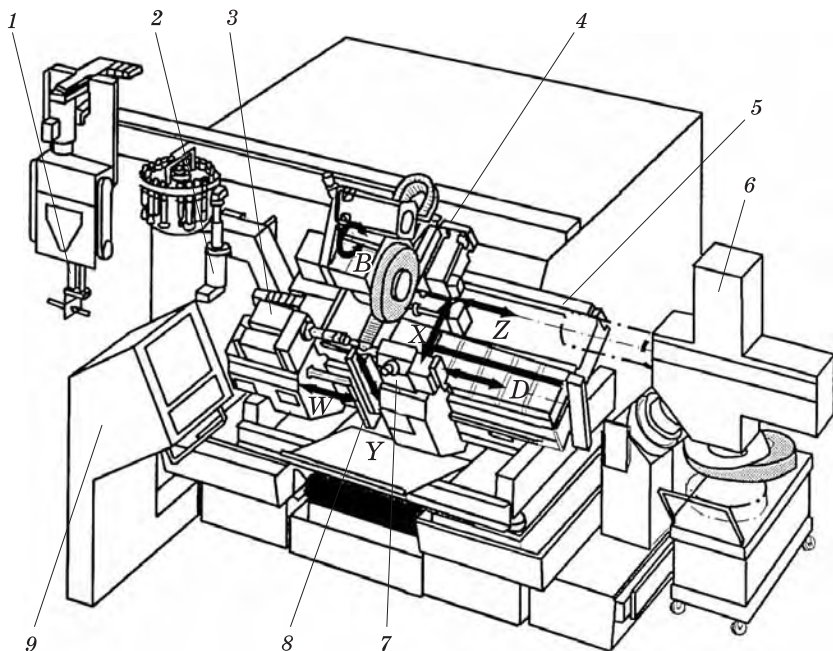


Рис. 1.7. Токарный ГПМ:

1 — патронный токарный многоцелевой станок; 2 — шпиндель; 3 — револьверная головка с режущими инструментами; 4 — порталный промышленный робот для смены деталей; 5 — манипулятор; 6 — универсальная палета; 7 — магазин палет; 8 — бункер для стружки; 9 — транспортер для стружки; 10 — система управления



*Рис. 1.8. Шлифовальный ГПМ:*

1 — манипулятор замены изделий; 2 — манипулятор замены электрошпинделей для внутреннего шлифования; 3 — шпиндель изделия; 4 — шлифовальный шпиндель; 5 — наклонные направляющие; 6 — манипулятор замены шлифовальных кругов; 7 — задняя бабка; 8 — измерительное устройство; 9 — система управления

#### 1.4. Гибкие производственные ячейки, системы и участки

**Гибкая производственная ячейка (ГПЯ)** — комплекс, состоящий из станков с ЧПУ, выбранных и установленных в соответствии с выполняемыми заданиями и соединенных средствами транспорта. В состав ГПЯ могут входить станки и машины, обслуживаемые вручную, а также дополняющие рабочие места — для

мойки, сушки, контроля размеров после обработки. Ячейки, обслуживаемые с помощью промышленного робота, называются роботизированными.

На рис 1.9 показана схема ГПЯ, состоящей из токарного станка с ЧПУ 1 и многоцелевого токарного станка 2. Ячейку обслуживает промышленный робот 4 с системой управления 12. Наряду со станками и роботом в состав ячейки входят дополнительные устройства и оборудование, в частности кантователь 3, моечная машина 5, палета<sup>1</sup> 7 с заготовками типов А и В, палета 6 с обработанными деталями, установка распознавания заготовок 9. Оператор находится перед центральным пультом управления 10 с монитором 11. Рабочая зона действия робота ограничена защитным устройством с системой фотоэлементов 8.

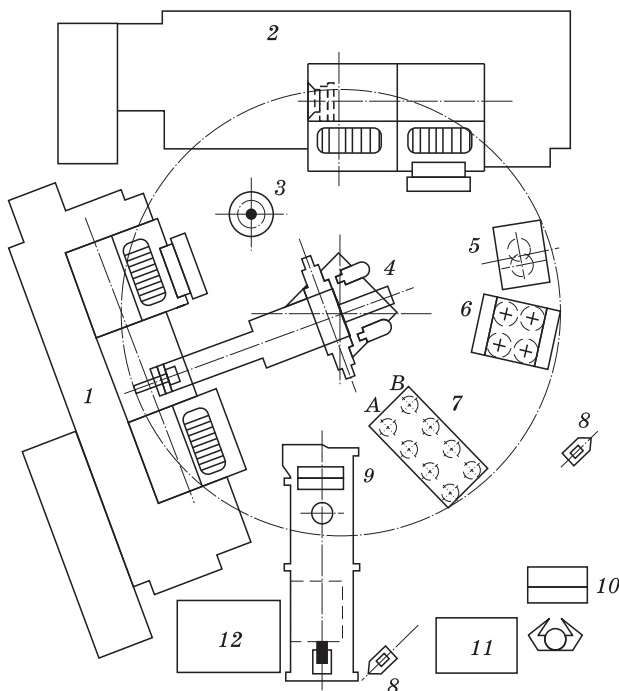


Рис. 1.9. Схема гибкой производственной ячейки

<sup>1</sup> Палета (от англ. *pallet* — поддон) используется для складирования, транспортирования, базирования и закрепления деталей в условиях ГПС.

**Гибкая производственная система (ГПС)** — комплекс, состоящий из большого количества автоматизированных рабочих мест (технологических машин, станков с ЧПУ, многоцелевых станков), которые позволяют использовать различные технологии обработки (давление, резание, термообработка, нанесение покрытий) и дополняющие технологии (мойка, сушка и т.д.) и связаны между собой устройствами для перемещения изделий таким образом, что на одних и тех же рабочих местах возможна обработка различных изделий, проходящих через ГПС различными путями. Компьютер, управляющий ГПС, выполняет также функции надзора и планирования производства, управляя перемещением изделий через систему и обеспечивая ее работу без участия оператора в течение требуемого отрезка времени.

Схема ГПС на базе трех ГПМ с общей системой транспортирования изделий на основе рольгангов и общей системой управления показана на рис. 1.10.

Повышение гибкости автоматизированных производственных систем возможно за счет применения:

- автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП);
- быстроперенастраиваемых автоматических поточных линий;
- универсальных промышленных манипуляторов с программным управлением (промышленных роботов);
- стандартизированного инструмента и средств технологического оснащения;
- автоматически перенастраиваемого оборудования (станков с ЧПУ);
- перенастраиваемых транспортно-складских и накопительных систем и т.д.

При создании ГПС имеет место интеграция:

- всего разнообразия изготавливаемых деталей в группы обработки;
- оборудования;
- материальных потоков (заготовок, деталей, приспособлений и оснастки, основных и вспомогательных материалов);
- процессов проектирования и производства изделий от идеи до готовой машины (объединение основных, вспомогательных и обслуживающих процессов производства);
- обслуживания (за счет слияния всех обслуживающих процессов в единую систему);

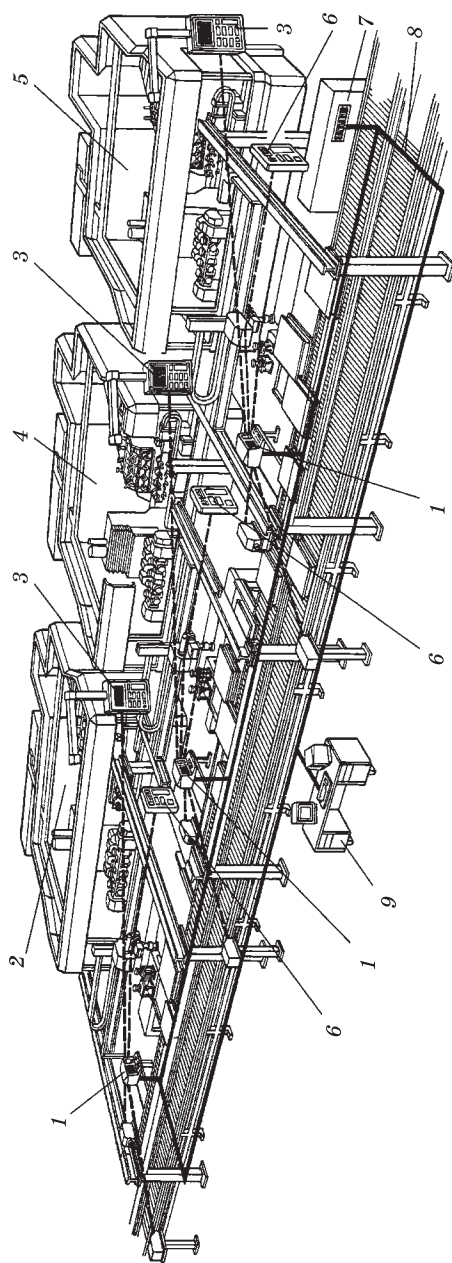


Рис. 1.10. Функциональная схема ГПС:

1 — компьютеры, управляющие работой ГПМ и измерительных машин; 2, 4, 5 — ГПМ; 3 — пульты управления ГПМ; 6 — порталы управления манипуляторами; 7 — система управления транспортной подсистемой; 8 — сеть, соединяющая главный компьютер с компьютерами рабочих мест; 9 — главный компьютер ГПС



- управления (на основе использования комплекса ЭВМ различного уровня, баз данных, пакетов прикладных программ, систем автоматизированного проектирования (САПР) и управления (АСУ);

- потоков информации о наличии и применении материалов, заготовок, изделий, а также средств отображения информации;

- персонала (за счет совмещения профессий конструктора, технолога, программиста, организатора производства).

В состав современных ГПС входят:

- автоматизированная транспортно-складская система (АТСС);
- автоматическая система инструментального обеспечения (АСИО);

- автоматическая система удаления отходов (АСУО);
- автоматизированная система обеспечения качества (АСОК);
- автоматизированная система обеспечения надежности (АСОН);
- автоматизированная система управления (АСУ);
- система автоматизированного проектирования (САПР);
- автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП);

- автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП);

- автоматизированная система оперативного планирования производства (АСОПП);

- автоматизированная система содержания и обслуживания оборудования (АССОО);

- автоматизированная система управления производством (АСУП).

По технологическому признаку ГПС в различных производствах могут быть разделены на две группы.

ГПС *первой группы* предназначены для выпуска с высокой производительностью крупных серий узкого спектра изделий, характеризующихся высокой степенью конструктивного и технологического подобию (обработка так называемых закрытых семейств изделий). Примером могут служить детали типового домостроения, выпускаемые для различных, но близких типовых проектов. Такие технологические задачи решают, применяя разновидность ГПС, называемую *гибкой поточной линией*. На такой линии изделия перемещаются с заданным ритмом по рабочим позициям, расположенным в соответствии с технологическим маршрутом и связанным внутренними межстаночными

транспортными устройствами. Порядок прохождения изделием производственного цикла обусловлен в данном случае технологическим маршрутом и соответствующим этому маршруту расположением оборудования.

Для такой разновидности ГПС характерно то, что для перехода на изделия другого наименования необходимо остановить поток, завершить обработку имеющегося задела, остановить оборудование, произвести его переналадку и затем снова запустить поток на выпуск новых изделий. Таким образом, одновременно в производстве на гибкой поточной линии могут находиться изделия только какого-нибудь одного наименования.

ГПС *второй группы* предназначены для выпуска изделий широкой номенклатуры, ограниченной техническими характеристиками применяемого оборудования, а также специализацией и квалификацией производственного персонала. Такие ГПС характеризуются большим технологическим разнообразием (обработка открытых семейств изделий).

В этом случае имеет место движение изделий от одной единицы оборудования к другой по произвольному изменяемому маршруту с возможностью его прерывания. Маршрут движения изделий и последовательность выполнения над ними технологических операций не связаны с расположением оборудования, а определяются планом работы производственного комплекса и расписанием загрузки оборудования, составляемыми не однократно (на этапе проектирования производственного комплекса), а многократно (на этапе его эксплуатации применительно к конкретному изделию). Для таких линий возможно одновременное нахождение в обработке различных изделий и не требуется обязательного выравнивания для различных изделий времени пребывания на соответствующих операциях технологического маршрута, а также числа этих операций.

К ГПС второй группы относятся технологические комплексы разного масштаба, степени сложности и уровня автоматизации — от гибких участков и цехов до гибких автоматизированных производств и объединений.

Ряд связанных между собой автоматическими транспортными и погрузочно-разгрузочными устройствами автоматических линий представляет собой автоматический комплекс с замкнутым циклом производства изделия. *Автоматизированные участки (цехи)* включают в себя автоматические поточные линии,

автономные автоматические комплексы, автоматические транспортные системы, автоматические складские системы, автоматические системы контроля качества, автоматические системы управления и т.д.

Принцип работы такого комплекса можно рассмотреть на примере гибкой автоматической линии по изготовлению блоков цилиндров автомобильных двигателей фирмы «Тойота» (рис. 1.11).

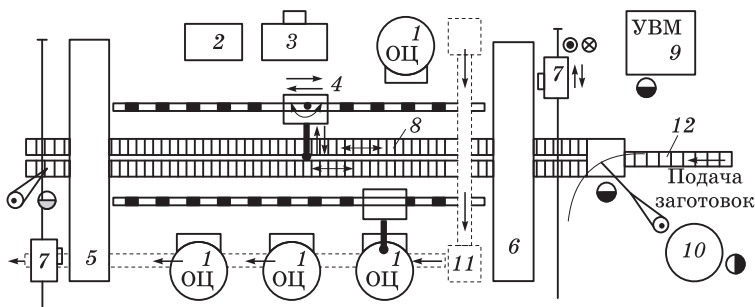


Рис 1.11. Гибкая автоматическая линия обработки блоков цилиндров

Линия состоит из следующих компонентов:

- четырех обрабатывающих центров (ОЦ) 1 со сменными инструментальными магазинами на 40 инструментов;
- трехкоординатной измерительной машины с программным управлением 2;
- автоматической моечной машины 3;
- роботов-манипуляторов 4;
- автоматической транспортно-складской системы, состоящей из двух вертикальных автоматизированных складов 5, 6 с двумя роботами-штабелерами 7, автоматизированного двухдорожечного роликового транспортера 8 с автономным приводом на каждый ролик;
- пульта управления линией 9;
- рабочего места подготовки инструментов 10 для установки в магазинах;
- автоматизированной системы удаления отходов 11;
- транспортера заготовок 12.

Заготовки с обработанными базовыми поверхностями поступают по транспортеру 12 на монтажный стол, где с помощью

ручного манипулятора устанавливаются на специальные приспособления-спутники (палеты). На каждую заготовку приклеивается магнитная метка, в которой содержится информация о заготовке (номер, марка материала и т.д.). По команде оператора робот-штабелер устанавливает палету с закрепленной на ней заготовкой в любую свободную ячейку склада заготовок. Считывающее устройство ячейки передает информацию на систему управления участка. При высвобождении любого из обрабатывающих центров 1 система управления линии в соответствии с оперативным планом производства, переданным с системы управления участка изготовления блоков цилиндров, дает команду роботу-штабелеру 7 склада заготовок 6 на перемещение очередной заготовки определенного типоразмера на позицию обработки.

Робот-штабелер извлекает палету с требуемой заготовкой из ячейки склада и устанавливает на одну из дорожек автоматического транспортера, который получает команду от системы управления о доставке палеты с заготовкой к свободному ОЦ. Остановка заготовки против заданного ОЦ обеспечивается вращением роликов транспортера с автономными приводами на отрезке от склада до заданного места, а остальные ролики остаются неподвижными. Одновременно с командой роботу-штабелеру на подачу заготовки система управления передает программу обработки указанной заготовки в систему ЧПУ ОЦ, которая за время движения заготовки по транспортной системе дает команды о замене инструмента для выполнения первого перехода операции и устанавливает необходимые режимы обработки, т.е. полностью подготавливает ОЦ для работы с новой, другой по параметрам обработки заготовкой. Робот-манипулятор 4 по команде системы управления перемещается по рельсовой дорожке к свободному обрабатывающему центру и производит перегрузку палеты с заготовкой с транспортера 8 на рабочий стол ОЦ, где она автоматически закрепляется, и производится полная обработка блока цилиндров.

По окончании обработки палета с готовой деталью перегружается на транспортер, а с транспортера — в моечную машину 3. После мойки и сушки обработанная деталь поступает на контрольную машину, где контролируется по программе, переданной системой управления. В случае соответствия параметров готовой детали заданным она поступает по транспортной системе на склад готовых изделий, информацию о чем получает

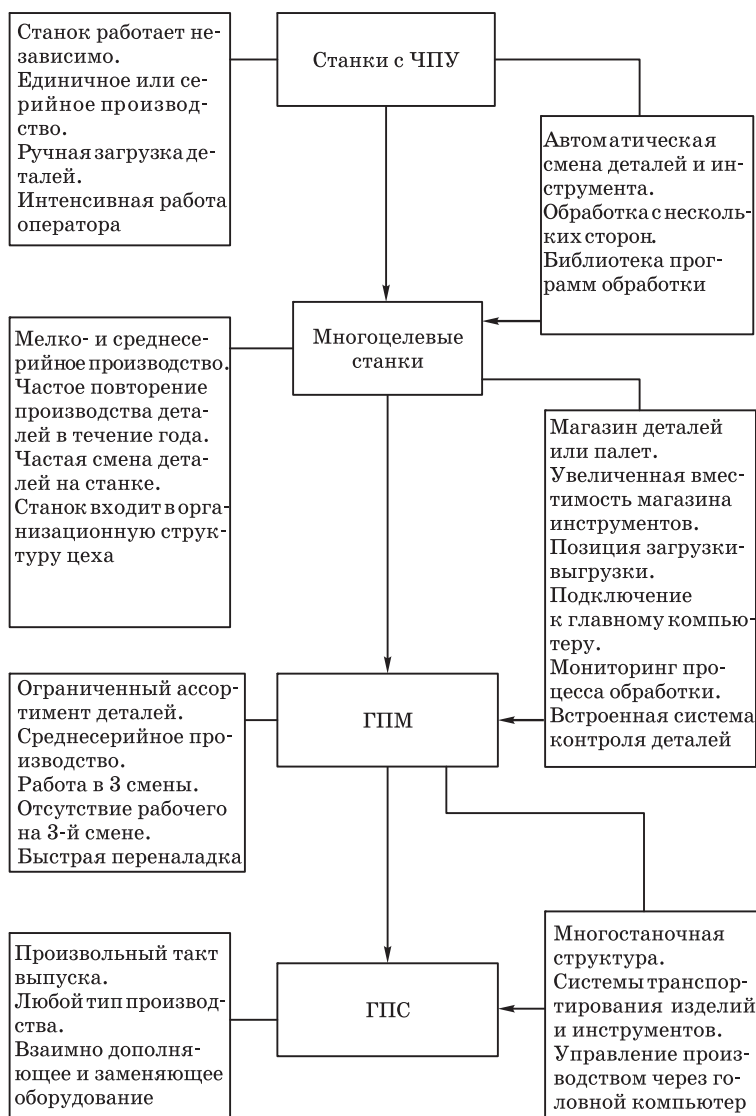


Рис. 1.12. Направления развития гибкого производственного оборудования

система управления линии. Перед помещением детали на склад готовых изделий оператор снимает ее с палеты, которая возвращается на склад заготовок. В случае, если контролируемые параметры изделия не соответствуют заданным, контрольная машина вызывает оператора для принятия решения. При необходимости по команде оператора контрольная машина распечатывает результаты контроля.

С целью экономии рабочего времени контроль за состоянием инструментов в инструментальном магазине и его смена производится вне обрабатывающего центра на специальном рабочем месте. Для этого инструментальный магазин снимается мостовым краном со специальным поворотным устройством и тут же на его место устанавливается новый магазин. Контроль и настройка инструмента в специальных инструментальных державках производится с помощью инструментального микроскопа.

Обслуживают участок три человека: инженер-оператор (он же наладчик, оператор системы управления, программист и контролер), рабочий склада заготовок и готовых изделий, рабочий-инструментальщик.

Подводя итоги, можно схематично представить основные пути развития гибкого автоматизированного оборудования и его основные возможности (рис. 1.12).

## 1.5. Структуры ГПС



Расположение конкретных устройств, входящих в ГПС, зависит от структуры последней. Эта структура создает комплекс связей между элементами и подсистемами, обеспечивающий движение материальных, энергетических и информационных потоков. С точки зрения способа расположения устройств основное значение имеет перемещение обрабатываемых изделий или носителей с изделиями, а перемещение вспомогательных элементов — гораздо меньшее.

В каждой системе перемещения материалов реализуются функции складирования, транспортирования и манипулирования (см. гл. 2.). Устройства для реализации данных функций

объединяют между собой рабочие (технологические) места и вспомогательные устройства. Связи, определяющие способ размещения устройств, создают пространственную структуру ГПС. Выделяют следующие структуры ГПС:

- концентрированная;
- замкнутая (ячейка);
- линейная;
- с центральным магазином-накопителем обрабатываемых изделий.

**Концентрированная структура** характеризуется тем, что все операции, необходимые для полной обработки изделия, выполняются на одном рабочем месте. В зависимости от типа производства на рабочем месте может обрабатываться одно изделие либо ряд часто заменяемых изделий с учетом технических возможностей данного рабочего места. Обеспечение заготовками и деталями в данном случае охватывает:

- 1) доставку заготовок с внешнего склада до рабочего места;
- 2) складирование заготовок на промежуточном складе
- 3) перемещение заготовок на станок и их закрепление;
- 4) обработку;
- 5) снятие обработанной детали со станка;
- 6) складирование обработанных деталей на промежуточном складе;
- 7) транспортирование деталей на центральный склад, другие ГПС либо на сборку.

Организация ГПС в случае **замкнутой структуры (ячейки)** является результатом специализации системы. Обрабатываемые изделия требуют одних и тех же технологических операций, однако технологические маршруты их обработки различны. Это вызывает движение заготовок в различных не связанных между собой направлениях, пропуск некоторых рабочих мест, в связи с чем можно говорить о разветвленной сети связей между ними как об основной характеристике данной структуры. Транспортирование и складирование в данном случае также связаны с рабочим местом.

**Линейная структура** ГПС является предметной. Для производимых изделий характерно подобие всех или большинства технологических операций и последовательности их выполнения, а связи между элементами ГПС и способ их размещения реализуются в соответствии с этой последовательностью.

В таких системах движение заготовок осуществляется в одном направлении непосредственно от предшествующего рабочего места к последующему, поэтому с функциональной точки зрения можно говорить о принципе последовательности операций. На линиях осуществляется многопереходная обработка и используются, как правило, специализированные технологические машины (станки). Такт работы линии при обработке конкретной партии деталей постоянен, что требует синхронизации работы существующих рабочих мест и обеспечивает их более или менее равномерную загрузку. Иногда между отдельными рабочими местами создаются промежуточные накопители, выравнивающие различия в производительности. Линии такой структуры могут быть:

- однорядными с отдельными позициями закрепления и открепления изделий (рис. 1.13);
- линейно-замкнутыми с центральной позицией закрепления-открепления изделий (рис. 1.14);
- сегментными с промежуточными накопителями (рис. 1.15).

Отдельные рабочие места линии могут быть по-разному связаны с транспортной подсистемой:

- заготовки подаются транспортной подсистемой непосредственно в зону обработки без использования каких-либо дополнительных устройств;
- заготовки с транспортирующих устройств попадают в буферный накопитель, откуда перемещаются на станок для обработки;
- заготовки подаются транспортной подсистемой непосредственно в зону обработки с помощью манипулирующих устройств, например промышленного робота или устройства для смены палет.

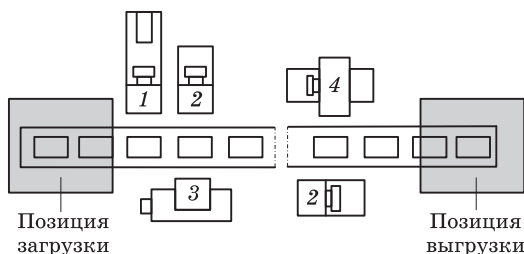


Рис. 1.13. Однорядная линейная ГПС с отдельными позициями закрепления и открепления изделий (цифрами на рис. 1.13...1.16 обозначены номера рабочих мест)



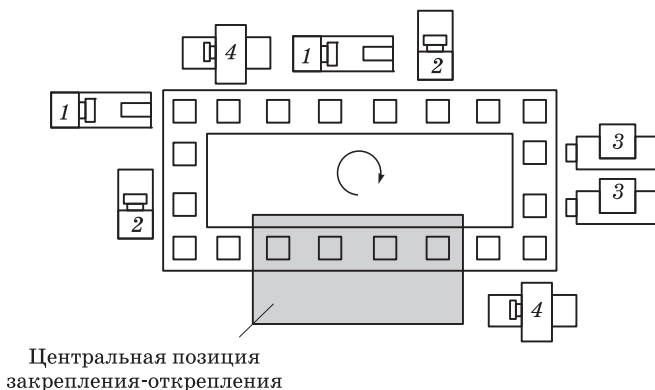


Рис. 1.14. Линейно-замкнутая ГПС с центральной позицией закрепления-открепления изделий

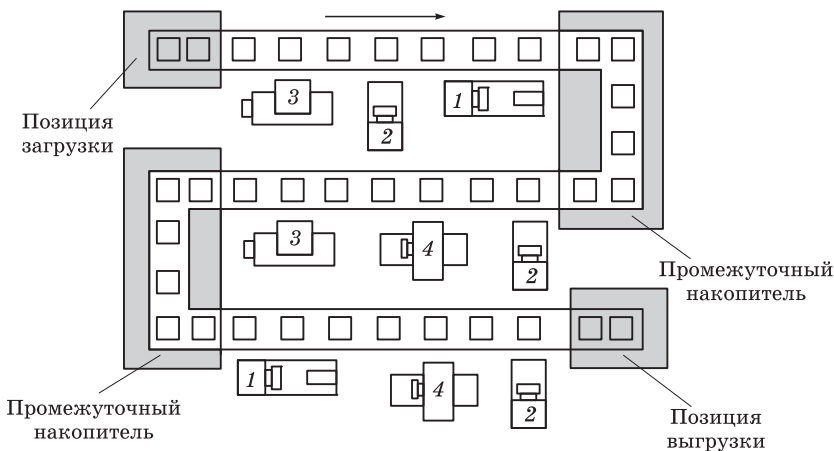


Рис. 1.15. Сегментная производственная линия с промежуточными накопителями

Гибкость линий обеспечивается за счет простоты их переналадки для обработки различных партий деталей, программирования хода обработки, а также трансформации линий при сохранении существующих рабочих мест и путей движения заготовок.

В ГПС со *структурой с центральным складом-накопителем* рабочие места связаны друг с другом опосредствованно,

через центральный магазин-накопитель обрабатываемых изделий, и располагаются в узлах ортогональной сетки (рис. 1.16).

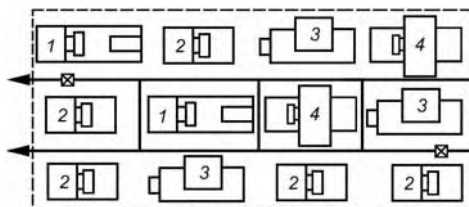


Рис. 1.16. Размещение станков со свободным подходом до рабочих мест (☒ — транспортное средство)

Заготовки перемещаются на палетах по одной (значительных габаритов) либо партиями. Палеты с заготовками подаются на конкретные рабочие места из центрального накопителя с помощью средств транспортировки, а после обработки точно так же возвращаются обратно. Такой способ значительно упрощает движение заготовок и не зависит от последовательности обработки изделий. Работа такой ГПС, однако, усложняется при большом количестве рабочих мест, поскольку требует усложнения и удлинения путей транспортировки.

## 1.6. Эффективность гибких автоматизированных систем механической обработки

Известно, что при обработке деталей на основе традиционных технологий основное время составляет около 30 % всего времени обработки, а оставшаяся часть приходится на вспомогательное и подготовительно-заключительное время. Это легко заметить при анализе данных, приведенных в табл. 1.2, 1.3. Автоматизация в ряде случаев позволяет сократить эту часть на 80 %.

Еще более значительные эффекты могут быть достигнуты в течение достаточно длительного времени функционирования гибкого автоматизированного производства (например, в течение года).

Эффективность ГПС можно проиллюстрировать с помощью рис. 1.17.

Таблица 1.2

**Использование годового фонда рабочего времени токарных станков с ручным управлением**

Затраты времени	Доля, %
Субботы, воскресенья, праздничные дни	34
Отсутствие третьей смены	22
Отсутствие второй смены	22
Организационные потери времени	10
Технологические потери времени (переналадка и т.д.)	6
Непосредственно обработка	6

Таблица 1.3

**Использование годового фонда рабочего времени станков с ручным управлением для обработки корпусных деталей**

Затраты времени	Доля, %
Субботы, воскресенья, праздничные дни	28
Отсутствие второй и третьей смен	40
Простои	6
Переналадки	7
Смена режущих инструментов	7
Установка и снятие деталей и другие вспомогательные действия	4
Непосредственно обработка	8

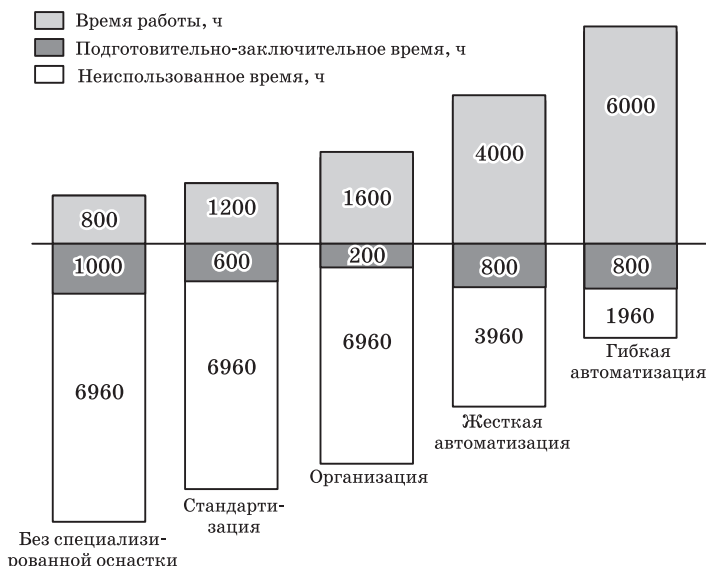


Рис. 1.17. Годовой фонд времени работы фрезерных станков (8760 ч) с различной степенью автоматизации

В данном случае выделено пять уровней автоматизации:

1) без дополнительной оснастки и оборудования — станки с ЧПУ, обслуживаемые операторами, не соединенные с транспортными системами, накопителями деталей и различными системами закрепления деталей;

2) стандартизация — использование одного и того же способа закрепления деталей на всех станках в течение цикла обработки (универсальная инструментальная оснастка, палеты и др.);

3) организация — закрепление заготовок в приспособлениях вне станка с использованием принятой системы координат и введением поправок в программу обработки; система прецизионного закрепления, реализованная на уровне 2), обеспечивает транспортировку и установку палеты на станке практически без погрешностей;

4) жесткая автоматизация — использование средств автоматизации, в частности автоматическая замена режущих инструментов и палет оператором или автоматическая замена режущих инструментов и палет манипулятором;

5) гибкая автоматизация — использование средств гибкой автоматизации, в частности замена инструментов и палет программируемым промышленным роботом.

Увеличению времени эффективного использования машин сопутствует снижение стоимости машино-часа их работы (рис. 1.18).



Рис. 1.18. Снижение стоимости машино-часа работы станков с различной степенью автоматизации

# 2

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

### 2.1. Виды автоматизированных станочных систем, их состав и области рационального использования

В настоящее время автоматизированные станочные системы содержат весьма разнообразное оборудование, управляемое как непосредственно через их системы ЧПУ, так и от головного компьютера подразделения или предприятия. Наиболее распространено использование токарного и сверлильно-фрезерно-расточного оборудования, однако все шире применяются также автоматизированные шлифовальные комплексы, оборудование для электроэрозионной и лазерной обработки и многое другое.

#### 2.1.1. Станки с ЧПУ и многоцелевые станки токарной группы

Станки токарной группы обеспечивают обработку главным образом тел вращения, причем наряду с различными токарными и расточными операциями на них можно выполнять также

сверление, развертывание, нарезание резьб, фрезерование поверхностей, расположенных на оси детали, перпендикулярно к ней, наклонно либо с эксцентриситетом. Таким образом, рассматриваемая группа станков многофункциональна, но токарные операции преобладают. Это означает, что их компоновки и структура такие же, как у традиционных токарных станков, деталь крепится во вращающемся шпинделе, а движения подачи совершают режущие инструменты.

В настоящее время используется ряд компоновок станков токарной группы в зависимости от их технологического назначения. *Станки с горизонтальной осью вращения шпинделя изделия* наиболее часто имеют следующие компоновочные решения:

- закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси  $C$ ; один суппорт с возможностью перемещения по осям  $X$  и  $Z$ , на котором установлена револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис. 2.1, а). Вращающиеся инструменты в зависимости от конструкции головки перемещаются как параллельно, так и перпендикулярно оси детали;
- закрепление деталей в патроне с поджатием задним центром (рис. 2.1, б). Компоновочная схема аналогична предыдущему варианту;
- закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси  $C$ ; два независимых суппорта с револьверными головками, несущими неподвижные и вращающиеся инструменты. Суппорты расположены с двух сторон относительно шпинделя станка, один имеет перемещения по осям  $X_1$  и  $Z_1$ , второй — по осям  $X_2$ ,  $Z_2$  и  $Y$  (рис. 2.1, в);
- закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемыми перемещениями шпинделя относительно осей  $X$ ,  $Z$  и  $C$ ; неподвижная револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис. 2.1, г);
- закрепление деталей сначала в основном, а затем во вспомогательном (перехватывающем) патроне с управляемым вращением относительно оси  $C$  (рис. 2.1, д). Вспомогательный патрон перемещается относительно оси  $Z_2$ , револьверная головка расположена между патронами и перемещается относительно осей  $Z_1$ ,

$X$ , иногда —  $Y$ . Перехват обрабатываемой детали осуществляется без остановки вращения основного шпинделя вследствие синхронизации частот вращения обоих патронов. Станок обеспечивает обработку детали со всех сторон;

- закрепление деталей сначала в основном, а затем во вспомогательном (перехватывающем) патроне с управляемым вращением относительно оси  $C$  (рис. 2.1,  $e$ ), причем функция перехвата осуществляется одним из гнезд револьверной головки. Две револьверные головки перемещаются относительно осей  $Z_1$ ,  $X_1$  и  $Z_2$ ,  $X_2$  соответственно. Станок обеспечивает обработку детали со всех сторон.

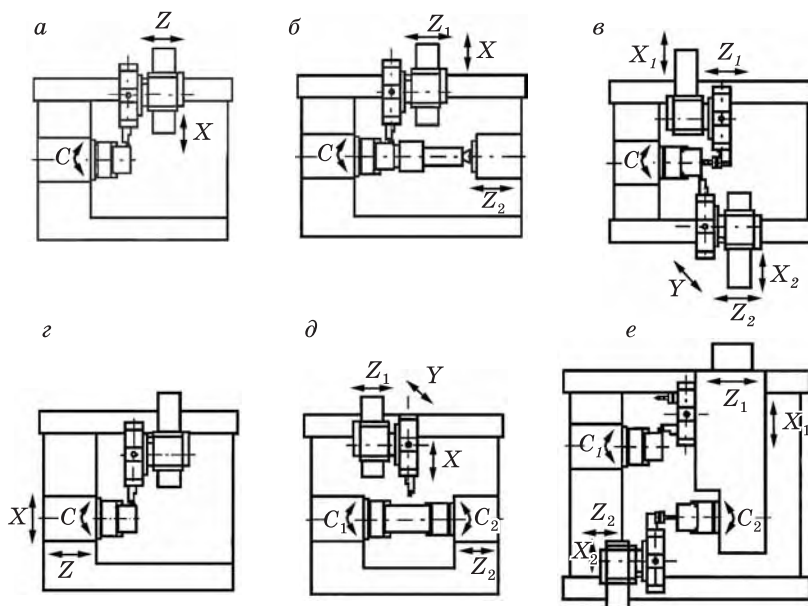


Рис. 2.1. Компонентные схемы станков токарной группы с горизонтальной осью вращения детали

Станки с вертикальной осью вращения шпинделя изделия (карусельные) используются в основном для обработки крупных тяжелых деталей. Они имеют следующие конструктивные решения:

- закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси  $C$ ;



один суппорт с возможностью перемещения по осям  $X$  и  $Z$ , на котором установлена револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис. 2.2, а). Вращающиеся инструменты в зависимости от конструкции головки перемещаются как параллельно, так и перпендикулярно оси детали;

- закрепление деталей в патроне с поджатием задним центром (рис. 2.2, б). Компонувочная схема аналогична предыдущему варианту;

- закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси  $C$ ; два независимых суппорта с револьверными головками, несущими неподвижные и вращающиеся инструменты. Суппорты расположены с двух сторон относительно шпинделя станка, один перемещается по осям  $X_1$  и  $Z_1$ , второй — по осям  $X_2$ ,  $Z_2$  (рис. 2.2, в);

- закрепление деталей в патроне с поджатием задним центром, с управляемым вращением относительно оси  $C$ ; два независимых суппорта с револьверными головками, расположенные с двух сторон относительно шпинделя станка, один перемещается по осям  $X_1$  и  $Z_1$ , второй — по осям  $X_2$ ,  $Z_2$  (рис. 2.2, г);

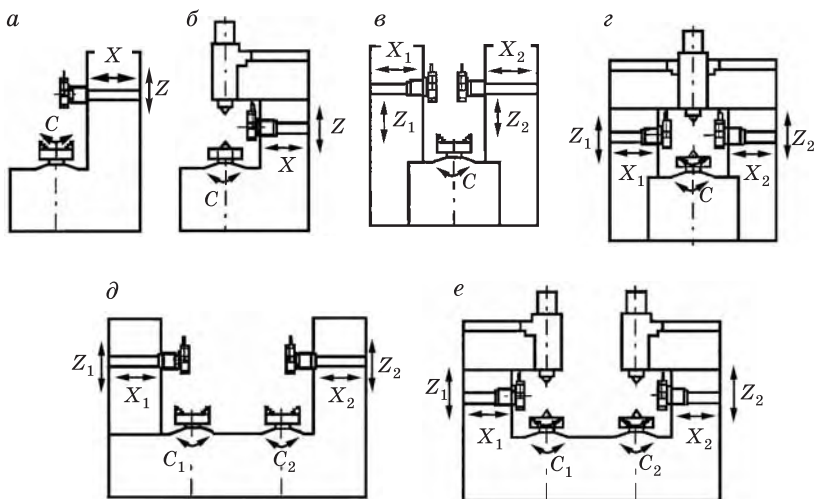


Рис. 2.2. Компонувочные схемы станков токарной группы с вертикальной осью вращения детали

- два параллельных шпинделя изделия с закреплением деталей в патроне (рис. 2.2, *д*); в остальном компоновка аналогична схеме *в*;
- два параллельных шпинделя изделия с закреплением деталей в патроне с поджатием задним центром (рис. 2.2, *е*); в остальном компоновка аналогична схеме *в*.

Анализ конструкции деталей типа тел вращения показывает, что более 80 % из них, кроме простейших цилиндрических, конических и торцовых поверхностей, имеют прямые и винтовые канавки и выступы, плоские поверхности, произвольным образом расположенные в пространстве, окна, глубокие отверстия и т.п. В связи с этим все чаще вместо традиционных токарных станков с ЧПУ для их обработки используют многоцелевые токарные станки. В этом случае револьверные головки кроме традиционных инструментов (неподвижно закрепленных в головке) могут быть оснащены инструментами с независимым вращением (рис. 2.3). Такие головки характеризуются малым

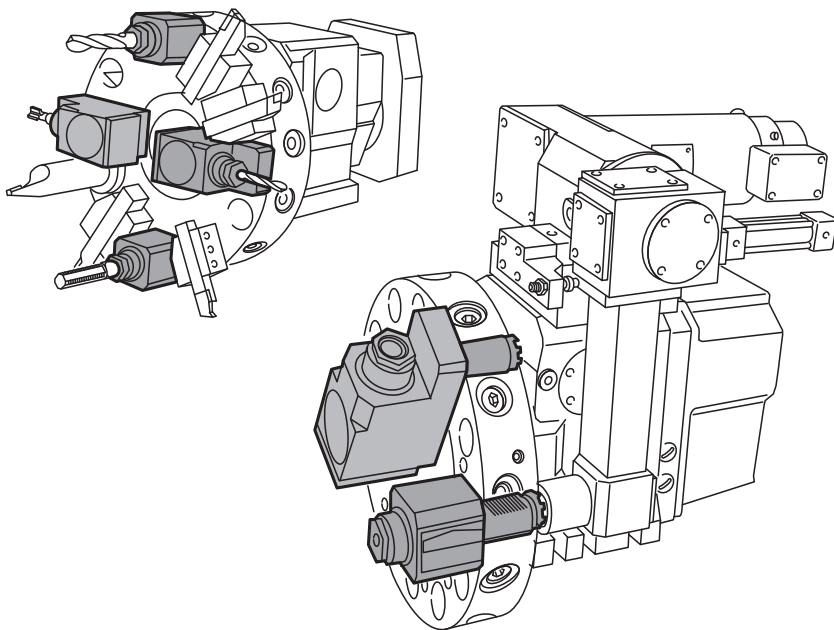


Рис. 2.3. Револьверные головки с неподвижными и вращающимися инструментами

временем замены инструмента на рабочей позиции, сравнительно небольшими размерами и могут иметь ось вращения параллельно, перпендикулярно и наклонно к оси обрабатываемой детали (рис. 2.4).

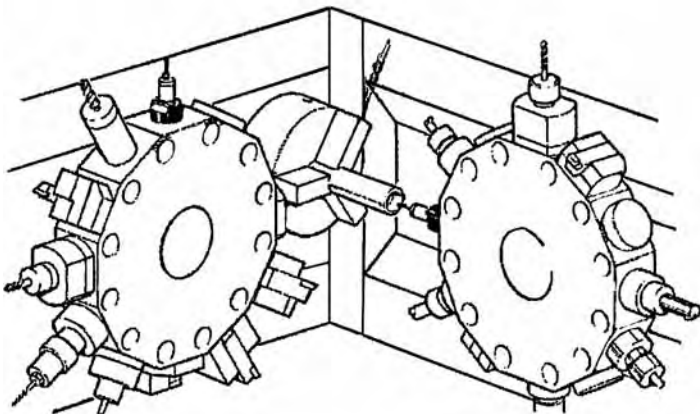


Рис. 2.4. Возможные положения осей револьверных головок относительно оси детали

Сочетание ряда перемещений требует введения в кинематическую схему станка соответствующих осей управления (рис. 2.5, 2.6).

Расширение технологических возможностей токарных станков с ЧПУ и ГПМ возможно вследствие:

- установки наряду с одной или двумя револьверными головками около каждого токарного шпинделя поперечного суппорта для резцов и осевых инструментов (рис. 2.7);
- введения в конструкцию 4...6 шпинделей изделия с возможностью поворота шпиндельного барабана на постоянный угол (рис. 2.8), что позволяет использовать оборудование с ЧПУ в крупносерийном и массовом производстве; подготовительно-заключительное время в этом случае в 4...5 раз меньше по сравнению с традиционными многошпиндельными токарными автоматами;
- замены традиционных револьверных головок на инструментальный шпиндель с возможностью управляемого поворота его оси на произвольный угол (рис. 2.9); в этом случае станок имеет возможность выполнения как токарных, так и сверлильно-фрезерно-расточных операций;

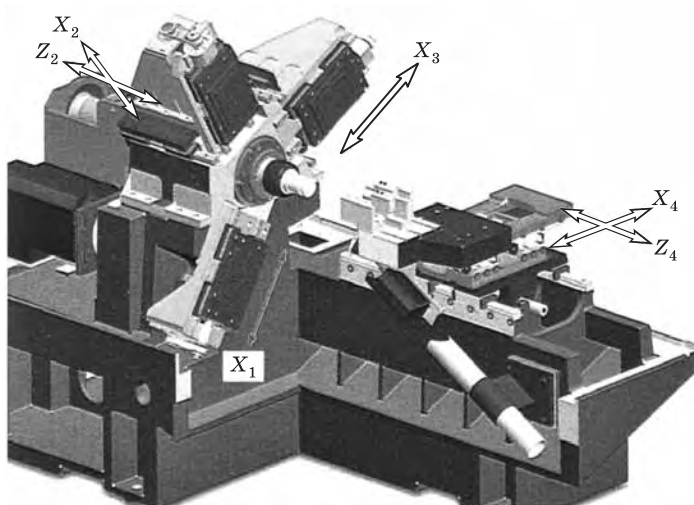


Рис. 2.5. Оси управления токарного автомата с ЧПУ MSL 42/60 фирмы DMG

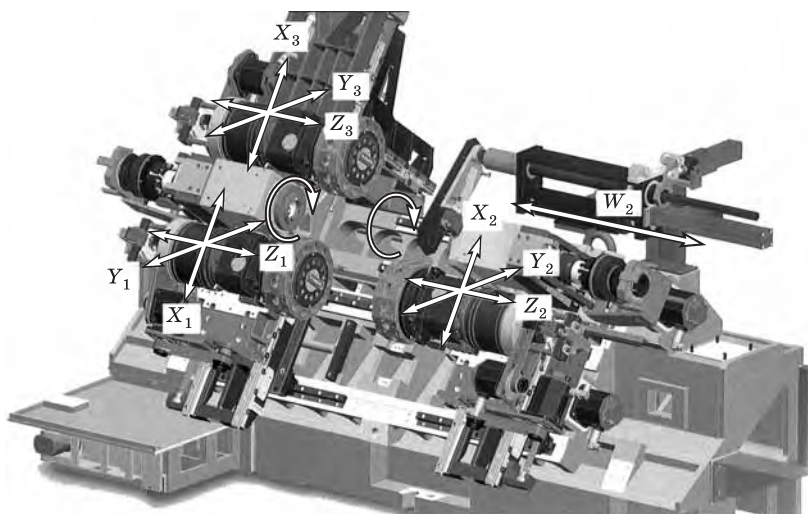


Рис. 2.6. Оси управления токарного многоцелевого станка SPRINT 50 фирмы DMG

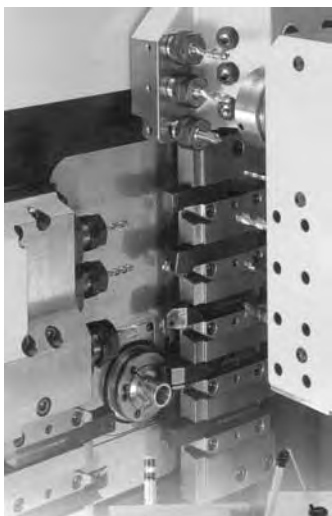
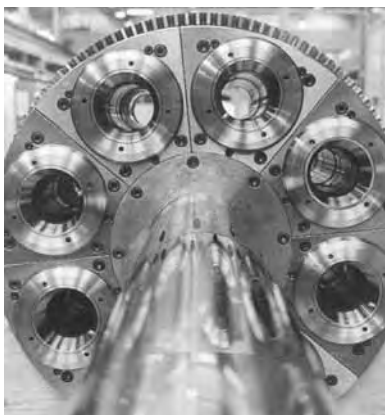


Рис. 2.7. Поперечные суппорты токарного многоцелевого станка

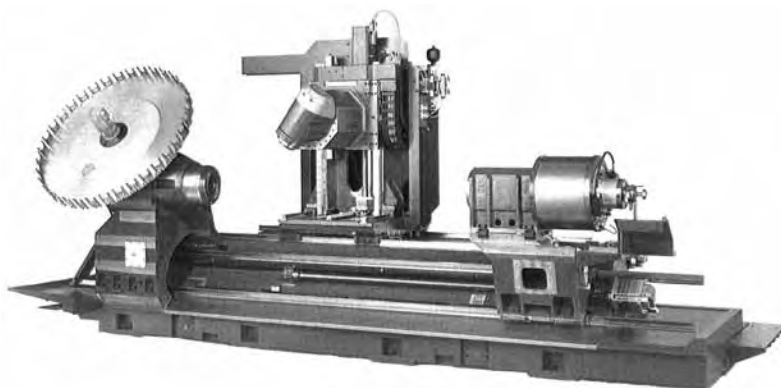
*а*



*б*



Рис. 2.8. Многошпиндельные токарные станки фирмы DMG:  
*а* — шпиндельный барабан; *б* — рабочая зона

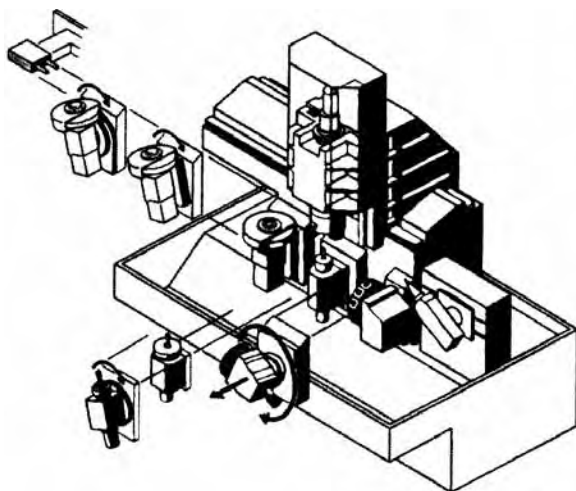


*Рис. 2.9.* Станок СТХ, оснащенный токарно-фрезерным шпинделем фирмы DMG

- установки в револьверной головке червячной зуборезной фрезы (рис. 2.10), что в случае координации перемещений по соответствующим осям обеспечивает возможность нарезания на детали зубьев и исключает необходимость отдельных операций зубообработки;
- введения в состав многоцелевого токарного станка шлифовального шпинделя (рис. 2.11), что позволяет совместить операции точения и шлифования.



*Рис. 2.10.* Установка червячной фрезы в револьверной головке токарного многоцелевого станка Millturn фирмы WFL Technologies GmbH&Co.KG



*Рис. 2.11.* Токарно-шлифовальный многоцелевой станок модульной конструкции фирмы Index-Werke GmbH & Co.KG

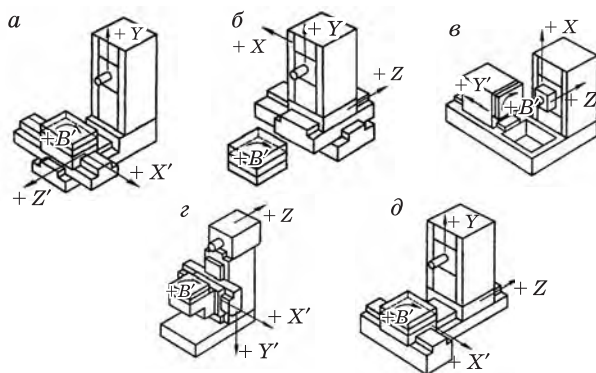
Современные многоцелевые станки токарной группы позволяют обработать деталь на одном рабочем месте без ее перемещения со станка на станок. При этом обеспечивается соответствующее базирование заготовки, исключаются потери точности обработки и т.д.

### 2.1.2. Станки с ЧПУ и многоцелевые станки сверлильно-фрезерно-расточной группы

Станки данной группы в ходе своего развития претерпели большие изменения. В настоящее время используется несколько компоновок таких станков в зависимости от их технологического назначения (рис. 2.12, 2.13).

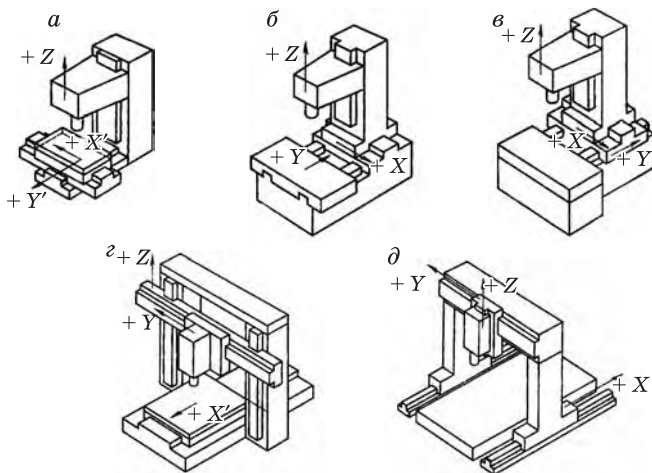
Технологические возможности сверлильно-фрезерно-расточных ГПМ могут быть расширены путем использования наклонно-поворотных столов, наклоняемых шпиндельных бабок; применения нескольких бабок и столов, многшпиндельных коробок, а также дополнительных формообразующих перемещений рабочих органов.





**Рис. 2.12.** Примеры компоновок многоцелевых станков сверлильно-фрезерно-расточной группы с горизонтальным расположением шпинделя:

*а* — с крестовым поворотным столом; *б* — с крестовой стойкой; *в* — с поперечно-подвижным поворотным столом и с вертикальным расположением поверхности крепления заготовки; *г* — с поворотным столом на крестовом суппорте; *д* — с поперечно-подвижным поворотным столом



**Рис. 2.13.** Примеры компоновок многоцелевых станков сверлильно-фрезерно-расточной группы с вертикальным расположением шпинделя:

*а* — с крестовым столом; *б* — с продольно-подвижным столом; *в* — с крестовой стойкой; *г* — двухстоечная с подвижным столом; *д* — двухстоечная с подвижным порталом



Каждый из основных рабочих органов многоцелевых станков может перемещаться вдоль линейных и круговых осей координат (рис. 2.14). Как следствие, станок имеет несколько степеней свободы, что позволяет за одну установку обработать самые сложные детали.

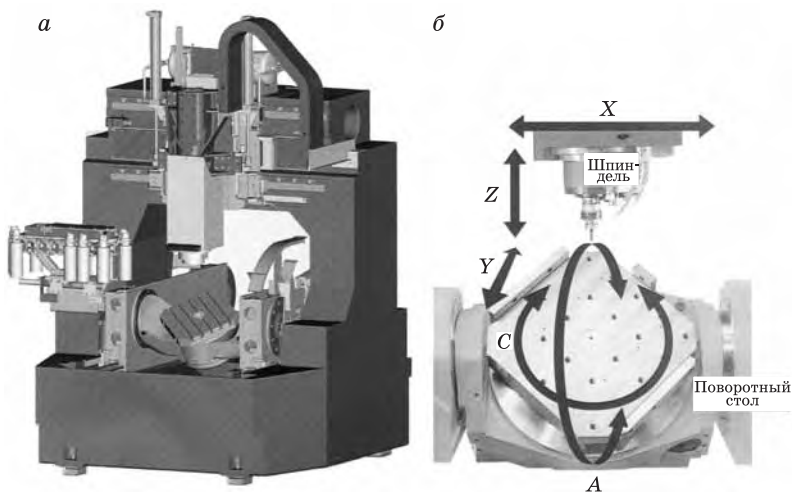


Рис. 2.14. Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточной станок (а) и используемые оси координат (б)

Традиционные кинематические структуры металлорежущих станков основаны на объединении нескольких поступательных и вращательных перемещений. Такое объединение требует весьма жестких и материалоемких конструкций базовых деталей станка, а инструмент связывается с корпусом открытой кинематической цепью.

Новый подход к компоновке станков основан на использовании замкнутых кинематических цепей. В этом случае приводы так называемой рабочей платформы (место крепления детали или инструмента) обеспечивают непосредственный контакт между режущим инструментом и деталью, не перемещая никаких дополнительных узлов и элементов станка. Такие структуры называются *гексаподы*. Примеры структурных схем гексаподов приведены на рис. 2.15.

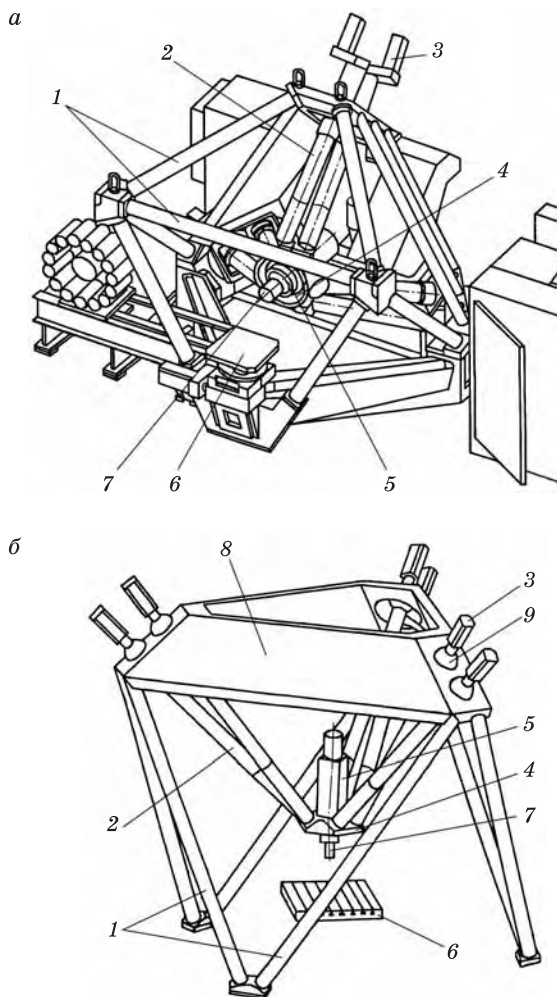


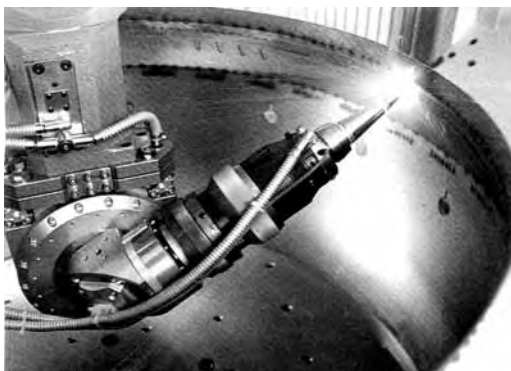
Рис. 2.15. Структуры гексаподов с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осями вращения шпинделя:

1 — несущая конструкция; 2 — рычаг управляемой длины; 3 — двигатель; 4 — рабочая платформа; 5 — электрошпиндель; 6 — рабочий стол; 7 — режущий инструмент; 8 — каркас; 9 — шарнир

Согласно литературным данным, по сравнению с традиционными станками у гексаподов жесткость повышена в 5...10 раз, а точность — в 2...3 раза. Наиболее вероятные области их использования:

- обработка литейных форм и матриц, лопаток турбин и других деталей с пространственно сложной формой;
- шлифование и заточка режущих инструментов с пространственным профилем;
- автоматическая сборка и сварка;
- лазерная, плазменная и струйная обработка;
- обработка кристаллов и ювелирных изделий.

На базе многоцелевых станков сверлильно-фрезерно-расточной группы конструируют также лазерные установки для обработки пространственных профилей. В данном случае в шпиндельной головке устанавливается твердотельный лазер, имеющий несколько степеней свободы (рис. 2.16).



*Рис. 2.16.* Использование твердотельного лазера для обработки микроотверстий

## 2.2. Автоматические склады и накопители заготовок и деталей

Развитие гибкой автоматизации производства повысило уровень требований к складированию, которое является очень важным элементом подсистемы обеспечения ГПС заготовками. Склады (магазины<sup>1</sup>) обрабатываемых деталей в подсистеме обеспечения заготовками служат:

- для создания межоперационного запаса обрабатываемых деталей, необходимого для безлюдной работы системы в течение требуемого времени;
- связи с внешними транспортными средствами, используемыми на предприятии;
- выравнивания времени работы отдельных рабочих мест ГПС;
- изменения пространственного расположения обрабатываемых деталей, обеспечивающего удобство манипулирования ими на рабочих местах.

На территории склада выполняются и дополнительные действия, такие, как резка прутков на штучные заготовки, измерения, контроль качества, упаковка готовых изделий.

С организационно-технической точки зрения склад должен быть соединен с транспортными устройствами, располагающимися перед и после него, а это требует автоматизации всех складских функций.

Подсистемы складирования могут быть *центральными* (обслуживают целое производственное подразделение) и *периферийными*, среди которых можно выделить магазины, находящиеся непосредственно на рабочем месте и буферные. Первые обеспечивают безлюдную работу станка с ЧПУ или ГПМ, вторые служат для выравнивания времени работы различных рабочих мест.

---

<sup>1</sup> Понятие «магазин» (от англ. *magazine* — склад, хранилище) обычно используют для подсистем ГПС, в которых размещены запасы заготовок, деталей и режущих инструментов и которые являются непосредственной частью ГПС. Независимые места хранения заготовок, деталей и инструментов, непосредственно не связанные с производственными системами, называются складами.

В зависимости от степени подвижности деталей магазины могут быть *статичными* или *динамичными*. В первом случае изделия во время складирования остаются неподвижными, во втором — могут перемещаться.

Существенным недостатком центрального магазина является необходимость производить значительное количество транспортирующих движений, чтобы исключить простои оборудования. С другой стороны, периферийные магазины не всегда позволяют создать достаточный запас изделий для безлюдной работы ГПС в течение достаточно длительного времени. Поэтому на практике в основном используется смешанная система складирования.

ГПС с *центральной магазином* обеспечивают связь между рабочими местами косвенным образом, через магазин, что требует значительного количества транспортирующих движений. В таких системах процесс транспортирования в значительной степени, а складирование полностью оторваны от рабочих мест. Одиночные крупногабаритные детали либо их партия складировуются на палетах, которые с помощью транспортирующих устройств доставляются к рабочим местам, а после обработки — обратно в магазин. Поэтому прямые связи между различными рабочими местами отсутствуют. Использование центрального магазина значительно упрощает прохождение обрабатываемых элементов через ГПС, однако усложняет транспортные задачи.

*Подвижный* центральный магазин — это чаще всего подвешенной или напольный конвейер, на котором размещаются изделия до и после обработки. Конвейер в этом случае объединяет функции транспортирования и складирования.

*Неподвижный* центральный магазин — стеллаж, обслуживаемый краном-штабелером, может иметь высоту до 20 м и более (стеллаж высокого складирования). В последнем случае емкость магазина значительно возрастает, что является экономически выгодным. Схема магазина высокого складирования с местами входа и выхода и внутренним пространством показана на рис. 2.17. Высокая часть — непосредственно складское пространство со стеллажами и штабелерами, в низкой находится оборудование для загрузки-выгрузки в транспортную систему и перемещения от высокой части магазина к низкой.

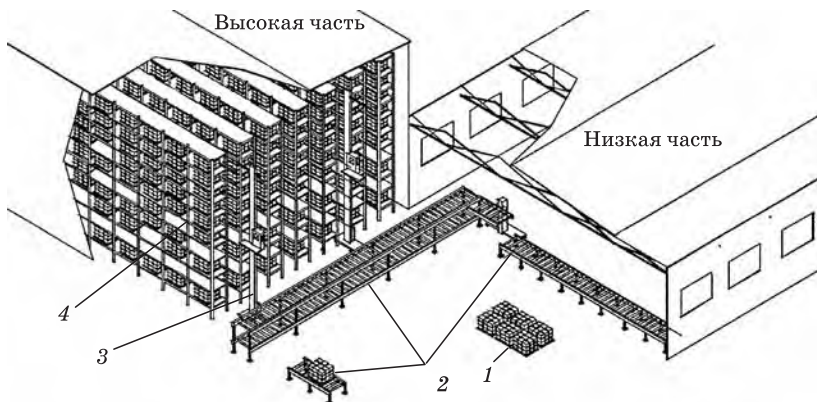


Рис. 2.17. Схема склада-стеллажа высокого складирования:  
1 — палеты; 2 — роликовые транспортеры; 3 — кран-штабелер;  
4 — штабели склада

Наряду с центральным складом (магазином) могут использоваться склады для обслуживания отдельных ГПС. Складская система, схема которой представлена на рис. 2.18, а, имеет два стеллажных склада 6 и 9. Заготовки и инструменты из стеллажей склада 6 на специальных поддонах-спутниках подаются на конвейер 4 автоматическим краном-штабелером 5. С помощью адресователей они передаются в накопители 3, каждый из которых обслуживает многоцелевой станок 1. Непосредственно на станок заготовки и инструменты перемещаются манипулятором 2. Детали после обработки передаются на стеллажный склад 9, а инструменты возвращаются на склад 6 с помощью конвейерной линии 7. Управление системой осуществляется компьютером 8.

В системе, показанной на рис. 2.18, б, в транспортно-накопительной системе используются роботизированные тележки 10, перемещающиеся по кольцевой трассе 4. Обозначения остальных позиций аналогичны обозначениям на предыдущей схеме.

Система, показанная на рис. 2.18, в, характеризуется центральным расположением многоцелевых станков 1 относительно конвейеров 4 и 7. По конвейеру 7 перемещаются палеты с заготовками, а по конвейеру 4 — использованные инструменты. Остальные обозначения аналогичны используемым на рис. 2.18, а.

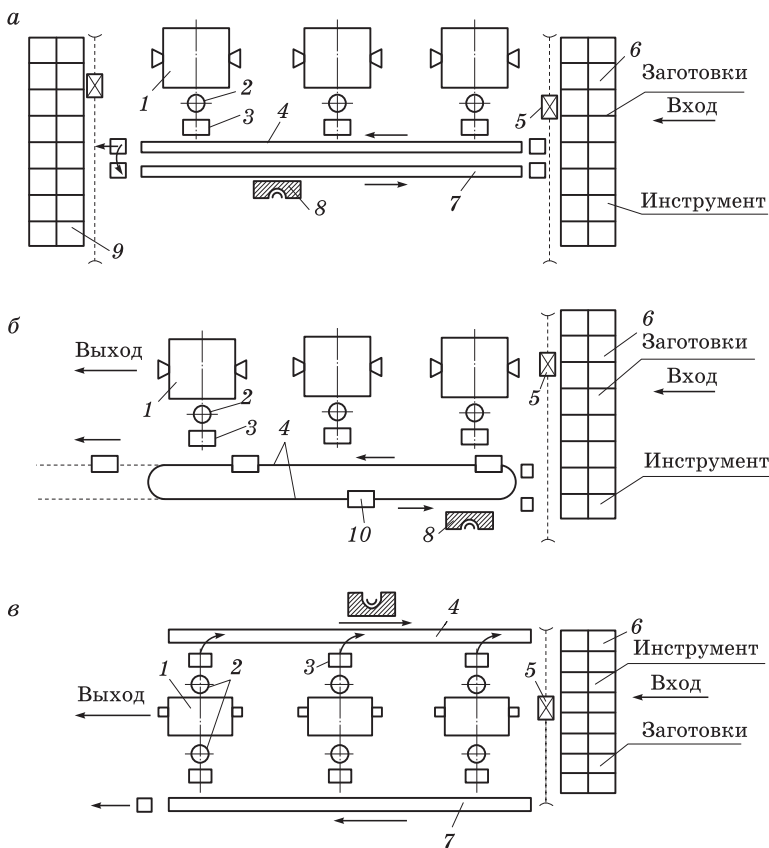


Рис. 2.18. Схемы использования складов-стеллажей

**Магазины на рабочих местах** для обработки деталей типа тел вращения характеризуются высоким уровнем специализации и разнородностью используемых технических решений. Основным требованием к таким магазинам является максимальная гибкость использования, обеспечиваемая простой переналадкой или переоснащением и возможностью расширения сферы действия. Магазины на рабочих местах могут быть частью транспортно-складской подсистемы ГПС либо функционировать независимо от нее. В первом случае магазин полностью механизирован и автоматизирован, во втором — требует ручного обслуживания при получении заготовок и отправке обработанных деталей.

Для токарной обработки деталей могут использоваться многопредметные и выдвижные палеты и магазины палет циклического действия. В случае автономных магазинов, требующих ручной установки деталей, используются роликовые и ленточные конвейеры, многопозиционные дисковые магазины и магазины металлопроката.

Неподвижный магазин типа «многопредметная палета» может быть выполнен на основе:

- одиночных палет (рис. 2.19), которые перемещаются по одиночке и не могут быть уложены в несколько ярусов;

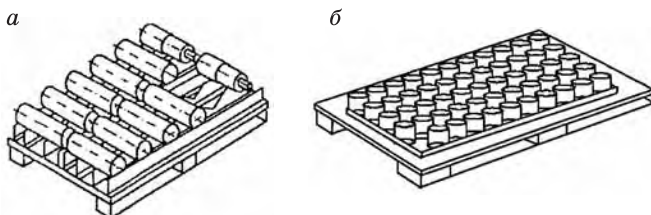


Рис. 2.19. Одиночные палеты для складирования деталей:  
а — обрабатываемых с закреплением в центрах; б — обрабатываемых с закреплением в патроне

- выдвижных палет (рис. 2.20), установленных в специальных контейнерах с возможностью выдвижения-задвижки, которые перемещаются вместе с контейнером;
- многоярусных палет (рис. 2.21), которые можно составлять поблизости от рабочего места одна на другую в штабеля.

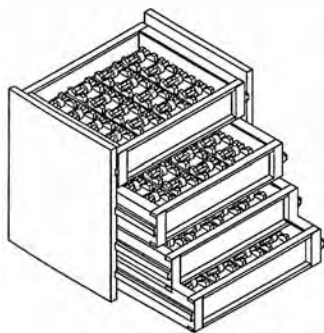


Рис. 2.20. Выдвижные палеты

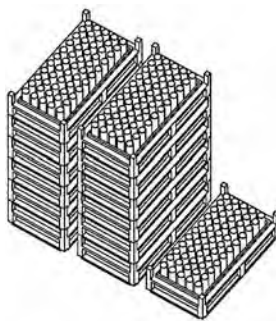
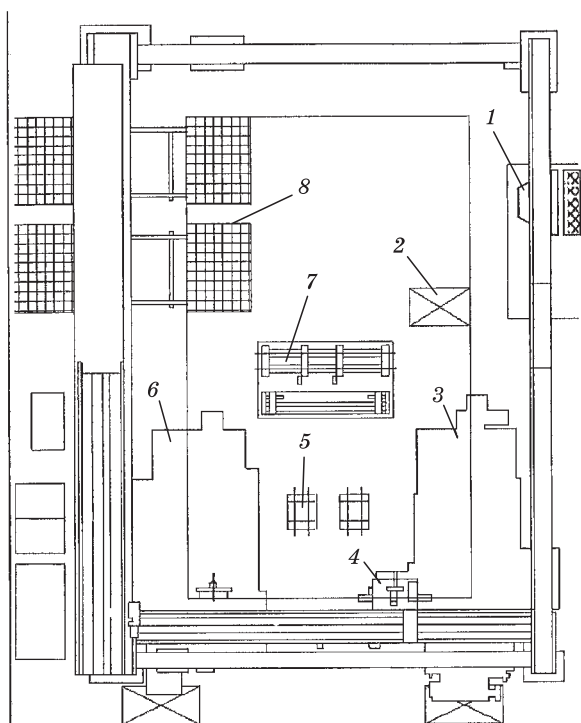


Рис. 2.21. Многоярусные палеты



Во всех случаях перемещение одиночных палет или контейнеров с палетами осуществляется используемыми в цехе средствами транспорта и не требует обязательной ручной загрузки-выгрузки деталей с палет непосредственно на рабочее место.

Использование магазина с одиночной многопредметной палетой, где каждая заготовка находится в определенной точке палеты, имеет свои достоинства и недостатки. С одной стороны, простота конструкции, поскольку палета в ходе работы ГПС неподвижна. С другой стороны, для выполнения манипуляций необходим относительно дорогой порталый промышленный робот с перемещениями вдоль трех осей координат (рис. 2.22).



*Рис. 2.22.* Схема токарной производственной ячейки, обслуживаемой порталым промышленным роботом:

1 — компьютер; 2 — емкость для технического брака; 3, 6 — токарные станки с ЧПУ; 4 — порталый промышленный робот; 5 — буферный накопитель; 7 — измерительная система; 8 — комплект станочных палет

Если запас заготовок на одной или двух палетах не обеспечивает безлюдной работы ячейки в течение требуемого времени, необходимо увеличить количество палет, размещая их штабелями, либо использовать выдвижные палеты. В первом случае возникает потребность в специальном устройстве для перемещения палет со штабеля с заготовками в штабель с обработанными деталями (по мере освобождения палет). Второй случай значительно проще, поскольку выдвижение палет выполняет промышленный робот, действующий на рабочем месте.

Магазины, используемые в ГПМ для обработки корпусов, являются магазинами палет с установленными на них крепежными приспособлениями. Магазины могут быть подвижными (рис. 2.23) и неподвижными (рис. 2.24). Независимо от степени подвижности магазины бывают линейными либо замкнутыми (круглыми или овальными). Линейные неподвижные магазины используются как накопители (буферные), если же требуется большая вместимость, лучше применять замкнутые магазины. Типовым решением магазина ГПМ для обработки корпусов является стационарный магазин с комплектом палет, поворачивающимся вокруг оси магазина, и толкателем (рис. 2.23, *а*) либо линейный магазин, обслуживаемый тележкой с устройством для смены палет (рис. 2.23, *в*).

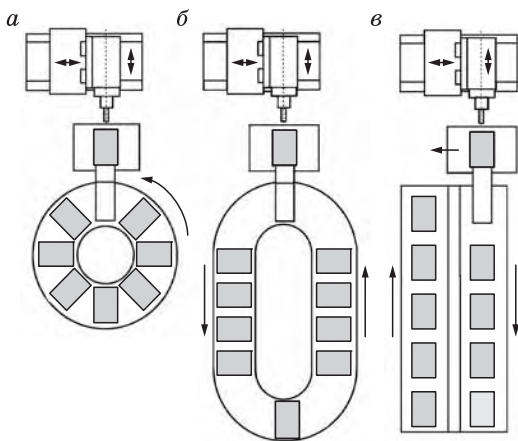
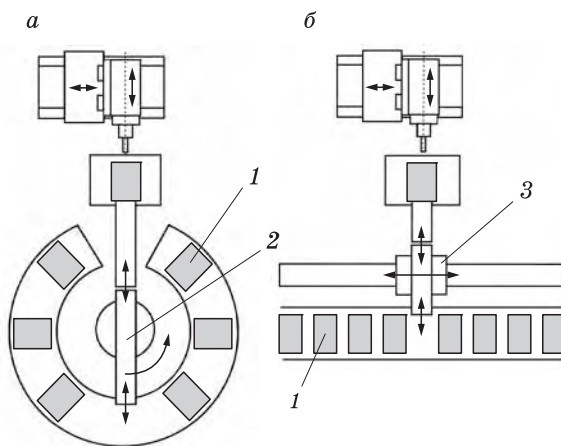


Рис. 2.23. Подвижные магазины палет, используемые в ГПМ для обработки корпусов:

*а* — круговой; *б* — овальный; *в* — линейный



*Рис. 2.24.* Неподвижные магазины палет, используемые в ГПМ для обработки корпусов:

*а* — круговой; *б* — линейный; 1 — палета; 2 — поворотное устройство для смены палет; 3 — тележка с устройством для смены палет

В жестких автоматических линиях используются три способа сосредоточения запаса заготовок: лотковый, магазинный и бункерный.

В лотковых устройствах (рис. 2.25, *а*) запас заготовок 2 в ориентированном положении («вразрядку» или «вплотную») сосредоточивается в лотках 1, которые в зависимости необходимой вместимости могут иметь различные формы. В магазинных устройствах (рис. 2.25, *б*) запас заготовок в ориентированном положении сосредоточивается «враскладку» или «внакат» в магазине. В бункерных устройствах (рис. 2.25, *в*) запас заготовок находится в бункере в неориентированном положении.

Автоматические магазины для корпусных деталей — сложные устройства, включающие элементы транспортной системы автоматической линии. Более подробно принцип их функционирования рассмотрен в 2.3.1.

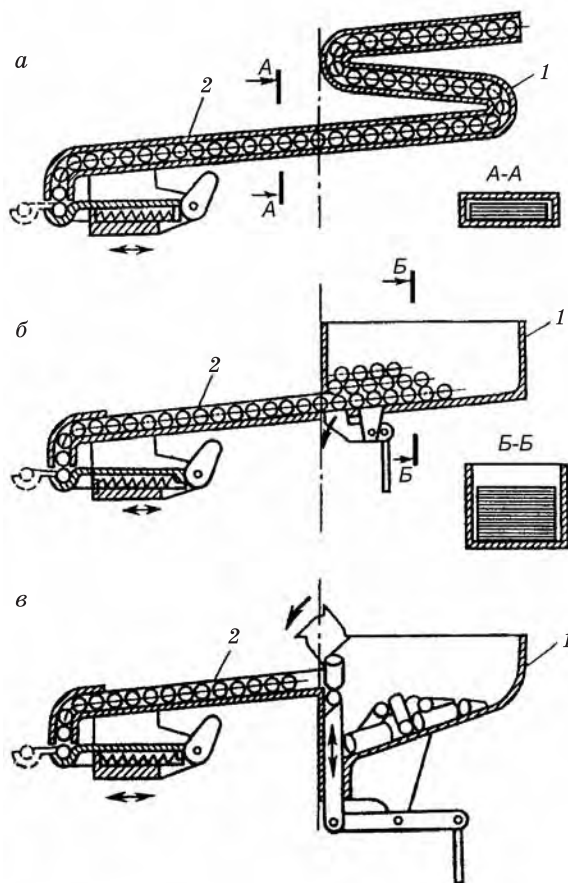



Рис. 2.25. Способы складирования штучных заготовок на жестких автоматических линиях

## 2.3. Автоматизация транспортирования изделий



Автоматизация технологического транспорта позволяет сократить время, затрачиваемое на обработку заготовок, на 30...50 %. Выбор транспортных устройств определяется в первую очередь их экономической эффективностью, связанной с формой и размерами заготовок, видом используемого оборудования и типом производства (массовое, серийное, единичное). Механической обработке подвергаются преимущественно штучные заготовки, полученные литьем, пластическим деформированием или на предварительных операциях лезвийной обработки, поэтому в общем случае процесс транспортирования состоит из двух последовательных операций: перемещения заготовок и деталей между станками и на станке. В последнем случае выделяют функции *загрузки* (перемещение в бункере, захват манипулятором, ввод в рабочую зону, ориентация, установка в рабочем приспособлении и закрепление) и *разгрузки* (раскрепление, вывод из рабочей зоны, перемещение на позицию складирования).

Перемещению подлежат как одиночные заготовки, так и заготовки, установленные на транспортных устройствах. В этом случае следует предусмотреть ручную или автоматическую установку детали на транспортные устройства, их перемещение и складирование.

### 2.3.1. Транспортные устройства жестких автоматических линий

Для автоматического перемещения деталей на жестких автоматических линиях применяют три способа:

- самотечный (гравитационный) — под действием силы тяжести (веса изделий);
- полусамотечный — под действием силы тяжести (веса изделий) с применением средств, уменьшающих силы трения;
- принудительный — под действием внешних сил.

При самотечном способе перемещение изделий производится сверху вниз в наклонных или вертикальных лотках скольжением, качением или перекачиванием на роликах. Поэтому все средства самотечного способа транспортирования имеют перепад по высоте между начальной и конечной точками перемещения. Эта высота не может быть значительной, поскольку естественное ускорение при движении с большой высоты приведет к недопустимому возрастанию скорости перемещения и ударам.

К средствам самотечного способа транспортирования относятся *спуски* различных типов. В *змейковых* спусках лоток образован волнистыми стенками, смещенными на полшага волны для замедления движения. *Ступенчатые* спуски подобны змейковым, но замедляют движение изделий благодаря ступеням на опорной части спуска. В *каскадных* спусках стенки снабжены полками, смещенными на полшага друг относительно друга и замедляющими процесс перемещения изделий. В *цепных* спусках на свободно вращающихся колесах имеется цепь с полками или гнездами, в которые закладываются изделия. Цепь приводится в движение силой тяжести. *Винтовые* и *зигзагообразные* спуски также способствуют замедлению перемещения. Компоненты спусков представлены на рис. 2.26.

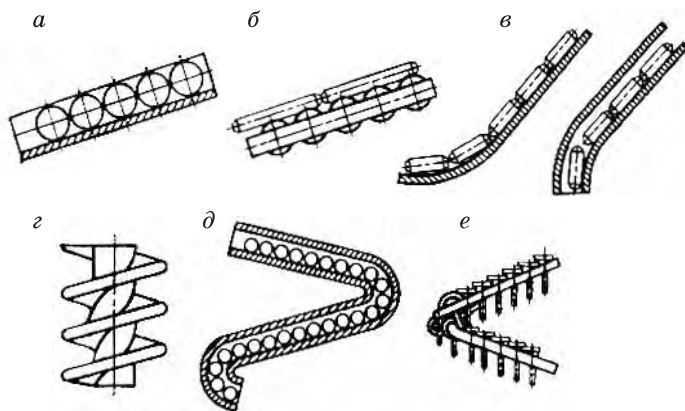


Рис. 2.26. Типы спусков:

*a* — прямолинейные обычные; *б* — роликовые; *в* — изогнутые (вогнутые и выпуклые); *г* — винтовые (спиральные); *д* — зигзагообразные; *е* — спирально-овальные

Транспортирование полусамотечным способом осуществляется скольжением в специальных *лотках*, имеющих небольшой ( $0,5...3^\circ$ ) наклон относительно линии горизонта. Такой наклон значительно меньше угла трения, поэтому перемещение осуществляется за счет приложения дополнительного бокового движения опорной поверхности, превышающего силу трения. Такое движение может обеспечиваться вращающимися валиками либо вибрациями несущих поверхностей.

Пневматические полусамотечные лотки используются для транспортирования изделий на воздушной подушке толщиной  $0,01...0,02$  мм при давлении  $10...20$  кПа.

Принудительное транспортирование может быть непрерывным и прерывистым. Непрерывное осуществляется различными *приводными транспортерами (конвейерами)* — ленточными, прокатными, роликоцепными, винтовыми, вибрационными и др. Прерывистое (дискретное) транспортирование осуществляется перекладывающими или переносящими *шаговыми транспортерами*, которые обеспечивают перемещение заготовок с позиции на позицию на определенный шаг, соответствующий расстоянию между рабочими местами автоматической линии либо кратный ему. В перекладывающих транспортерах изделия размещаются в гнездах и перемещаются по прямоугольной трассе. Переносящие конвейеры оснащены манипуляторами с захватами, имеющими соответствующие возвратно-поступательные движения.

Наибольшее распространение получили *транспортеры с собачками* (рис. 2.27, а). Подпружиненные собачки 2, установленные на штанге 1, при движении штанги вперед захватывают заготовки 3 и перемещают их на следующую позицию. При движении назад собачки утапливаются внутрь штанги, поворачиваясь на осях, и проходят под заготовками.

*Транспортеры с флажками* (рис. 2.27, б) имеют штангу 1, которая перемещает заготовки 3, совершая возвратно-поступательное движение. Захват заготовок флажками 2 происходит в результате качательного движения штанги вокруг своей оси. При движении назад штанга повернута и флажки не касаются заготовок.

При обработке деталей типа валов иногда применяются *рейнерные шаговые транспортеры* (рис. 2.27, в), у которых штанги 1

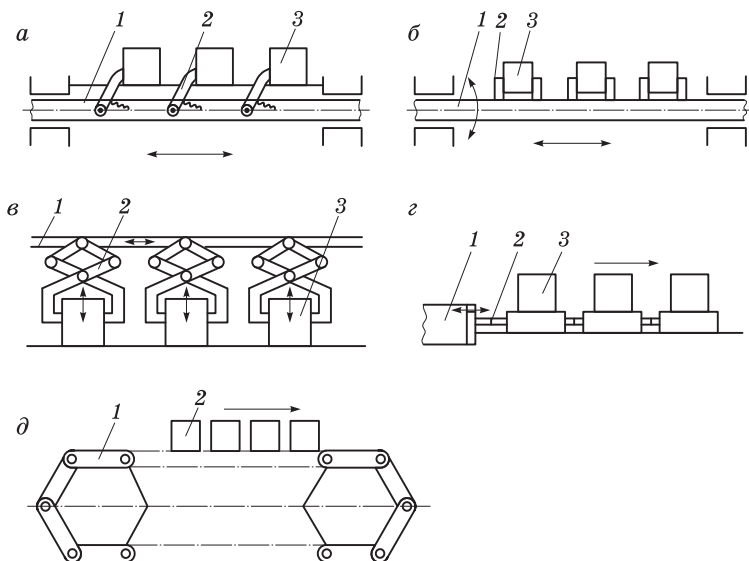


Рис. 2.27. Схемы шаговых транспортеров

и захваты 2 расположены сверху, над станками (3 — деталь). Такие транспортеры, однако, сложны по конструкции и недостаточно надежны.

Наиболее просты по конструкции *толкающие шаговые транспортеры* (рис. 2.27, г), в которых шток 2 гидроцилиндра 1 воздействует на последнюю заготовку 3 из ряда заготовок, перемещая их вплотную друг за другом. При этом, однако, усложняется фиксация заготовок из-за накопления ошибок позиционирования.

*Цепные транспортеры* (рис. 2.27, д) работают как в непрерывном, так и в шаговом режиме. Цепь 1 получает возвратно-поступательное движение на большее расстояние, чем предусмотрено шагом между позициями. Заготовки 2, свободно лежащие на цепи, перемещаются до выдвижных упоров и надежно позиционируются.

С помощью *транспортных роторов* обеспечивается перемещение деталей между рабочими роторами роторных автоматических линий (рис. 2.28, а). Наиболее часто применяют дисковые транспортные роторы (рис. 2.28, б). Ротор 4 обеспечивает



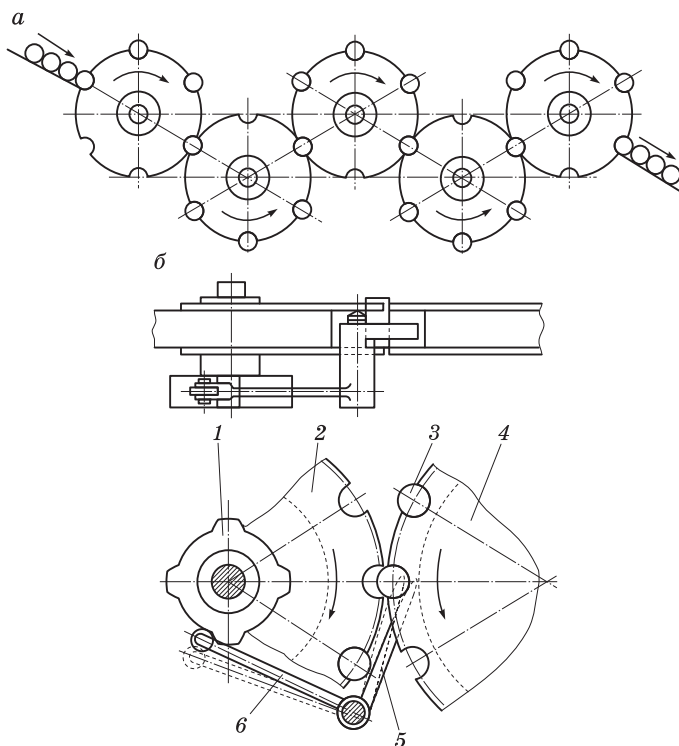


Рис. 2.28. Транспортные роторы автоматических линий:

*а* — принцип работы; *б* — схема дискового транспортного ротора

передачу заготовки 3 в рабочий ротор 2 с помощью толкателя 5, имеющего принудительный привод от кулачка 1. Профиль кулачка обеспечивает требуемую траекторию перемещения рычага 6, связанного с толкателем.

**К поворотным устройствам** относятся поворотные столы, барабаны или кантователи, обеспечивающие ориентацию заготовки путем ее поворота вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной осей. Поворотные устройства встраиваются в магазины между независимыми участками автоматической линии, имеющими собственные транспортеры.

Магазин, изображенный на рис. 2.29, состоит из двух продольных штанговых транспортеров 1 и 11 с убирающимися собачками и четырех поперечных транспортеров 3, 4, 5, 6. В продольные

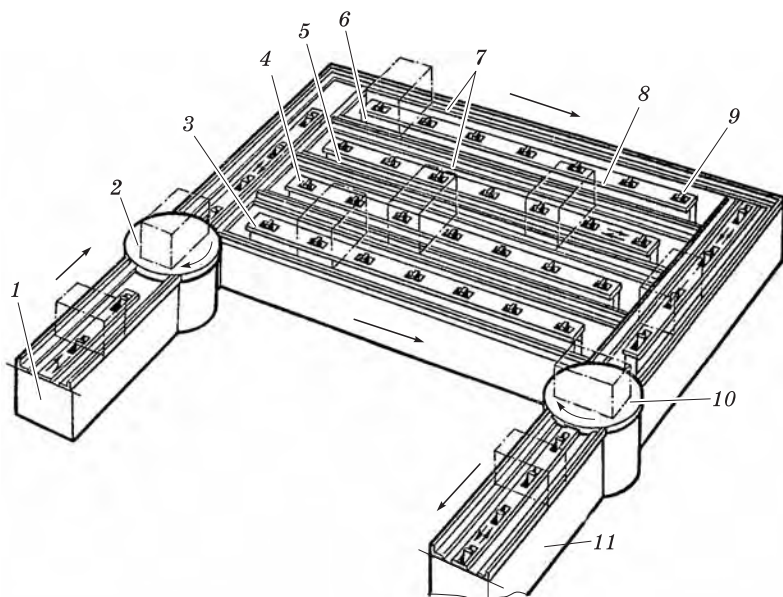


Рис. 2.29. Автоматический накопитель для корпусных деталей

транспортеры 1 и 11 встроены поворотные столы 2 и 10, поворачивающие обрабатываемые детали на  $90^\circ$ . Детали перемещаются по направляющим планкам 7 с помощью штанги 8, на которой через шаг установлены собачки 9.

Магазин работает следующим образом. При нормальной работе автоматической линии блоки с транспортера 1 передаются транспортером 3 на транспортер 11 и затем к станкам последующего участка. При останове последующего участка автоматически выключаются транспортеры 3 и 11, а включаются транспортеры 4, 5, 6, которые имеют общий привод, а следовательно, работают синхронно. При заполнении транспортера 11 детали подаются в магазин транспортерами 4, 5 и 6. Для совершения одного хода транспортеров 4, 5 и 6 транспортер 1 совершает три хода. При заполнении деталями транспортеров магазин выключается и вместе с ним прекращается работа участка автоматической линии.

При останове предыдущего участка линии последующий может работать, используя запас блоков в магазине. В этом случае выключаются транспортеры 1 и 3, а транспортеры 4, 5, 6 и 11 работают.

С помощью транспортеров 4, 5 и 6 детали выдаются на транспортер 11. За один ход транспортеров 4, 5 и 6 транспортер 11 совершает три хода. Когда детали из магазина израсходованы, работа последующего участка автоматически прекращается.

Особенностью конструкции транспортеров 4, 5, 6 является возможность перемещения деталей в обе стороны. Для этого подвижные штанги транспортера снабжены двумя рядами упоров, причем расположение одного ряда диаметрально противоположно расположению другого (второй ряд собачек на рисунке не виден). При одном положении штанг детали перемещаются по направлению к транспортеру 11, а при повороте на  $180^\circ$  — в сторону транспортера 1. Необходимость обратного движения деталей в магазине возникает при переключении работы линии на магазин, имеющий некоторый запас деталей, находящихся в конце магазина. В этом случае следует прежде всего переместить их назад к транспортеру 1, а затем уже запускать в работу предыдущий и последующий участки линии.

**Ленточные транспортеры.** Для перемещения заготовок типа втулок используются *одноленточные транспортеры*. Они состоят из лотка 1 и приводного ремня 3 (рис. 2.30, а). Заготовки 2, падающие между бортом лотка и рабочей ветвью ремня, прокатываются между ними, одновременно совершая поступательное перемещение.

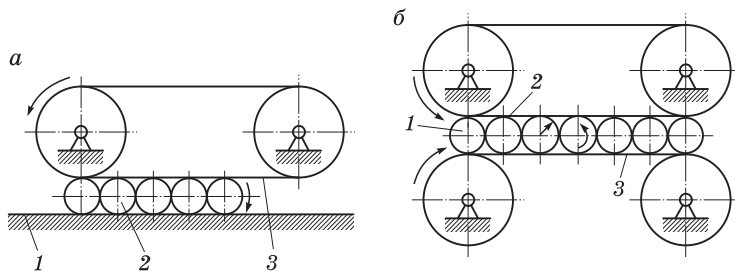


Рис. 2.30. Схемы ленточных отводящих транспортеров

**Двухленточные транспортеры** (рис. 2.30, б) применяются для перемещения относительно легких заготовок. Они позволяют регулировать скорость движения заготовок в широких пределах. Для этого каждая лента имеет свой привод, причем один из них делается с вариатором скоростей и реверсом. Если обе

ленты 2 и 3 движутся в одну сторону с одинаковой скоростью, то заготовки 1 будут перемещаться со скоростью, равной скорости ленты. Если одна из лент неподвижна, скорость заготовок снижается. Если ленты перемещаются в противоположные стороны с одинаковой скоростью, то заготовки будут вращаться на месте.

**Отводящие транспортеры** служат для соединения потоков обрабатываемых заготовок, поступающих от станков АЛ, и передачи их на следующий технологический участок. Типовая схема отводящего транспортера представлена на рис. 2.31. Транспортер состоит из лотка 1 и пластинчатой цепи 2. Заготовки 5 поступают из лотков 4 самотеком. На их пути расположен замедлитель движения 3. Сила удара и масса заготовки передаются с помощью планки поршню амортизатора. Планка медленно отклоняется, и заготовка скатывается на ленточную цепь транспортера. Заготовки при транспортировании контактируют с пластинами цепи и боковыми стенками лотка, поступательно перемещаясь и вращаясь в обратном направлении.

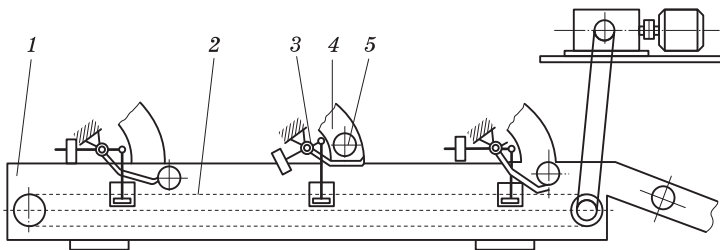


Рис. 2.31. Схема цепного отводящего транспортера

**Межоперационные накопители** устанавливаются, как правило, между различными участками АЛ с гибкой связью. Они принимают заготовки из предыдущего участка линии при неработающем последующем, работая на накопление, и выдают заготовки на последующий участок линии при неработающем предыдущем, работая на расход. Они могут также работать на прямую, осуществляя одновременно прием и выдачу заготовок.

На АЛ для обработки мелких заготовок роль межоперационных накопителей выполняют бункерно-загрузочные устройства и вибрационные подъемники-накопители. На линиях для изготовления более крупных заготовок применяются межоперационные накопители транзитного или складского типа.

В транзитных накопителях для выдачи очередной заготовки необходимо перемещать весь их запас. В складских накопителях при нормальной работе предыдущего и последующего участков линии поток заготовок может перемещаться в обход запаса заготовок, находящегося в накопителе.

*Транзитные накопители* бывают шахтного типа и барабанные. В накопителе шахтного типа (рис. 2.32) заготовки из лотка 1 доставляются вверх подъемником элеваторного типа 2 и по спиральному или змеевидному лотку 3 скатываются под воздействием собственного веса на отводящий транспортер 5. Отсекатель 4 управляет выдачей заготовок на отводящий транспортер.

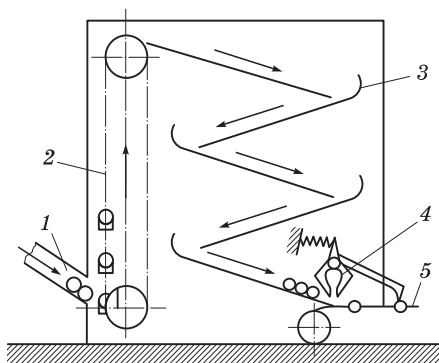


Рис. 2.32. Схема шахтного транзитного накопителя

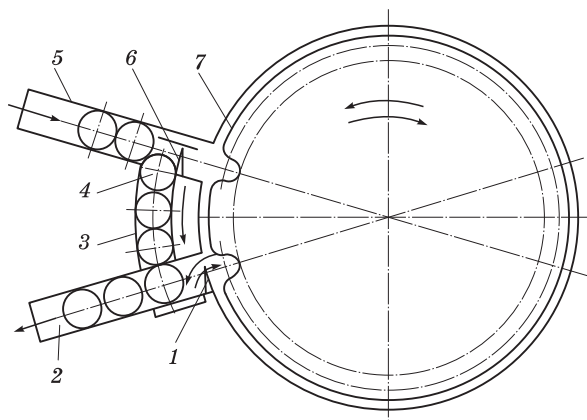


Рис. 2.33. Схема работы транзитного складского накопителя

Межоперационный накопитель *складского типа* показан на рис. 2.33. При нормальной работе предыдущего и последующего участков линии заготовки 4 поступают по лоткам 5 и 3 в лоток 2, минуя накопитель 7. При работе на накопление отсекается 6 закрывает приемное окно лотка 3, и заготовки поступают в накопитель 7, который может иметь выемки и радиальные пазы для приема заготовок. При работе на расход отсекается 1 занимает горизонтальное положение, и заготовки из накопителя 7 поступают в приемный лоток 2.

### 2.3.2. Транспортные устройства гибких автоматических линий

В гибких автоматических линиях станки работают независимо друг от друга, а связь между ними осуществляется благодаря межоперационным заделам. Транспортные системы гибких автоматических линий включают подъемники, транспортеры-распределители, устройства для приема и выдачи заготовок, лотки, отводящие транспортеры, межоперационные накопители.

**Подъемники** предназначены для подъема заготовок на заданную высоту, с которой они скатываются по лоткам к рабочим позициям станков. Если высота подъема невелика, используются *толкающие подъемники* (рис. 2.34, а). Заготовки, поступающие из лотка 5, заталкиваются в шахту 4 толкателем 2, совершающим возвратно-поступательное движение под воздействием кривошипно-шатунного механизма 1. От падения заготовки удерживаются подпружиненной собачкой 3.

**Вибрационные подъемники** (рис. 2.34, б) используются для подъема легких заготовок. Они состоят из трубы 3 с винтовым лотком 2, закрепленных на основании 1. Вибрационные перемещения создаются кулачком или электромагнитным вибратором. Под воздействием вибраций заготовки в нижней части подъемника заходят на лоток 2 и перемещаются вверх.

Иногда в автоматических линиях с гибкой связью в качестве магистральных транспортеров применяются *лотки*. Но наиболее широко они используются как транспортные устройства для передачи заготовок от подъемников к транспортерам-распределителям,

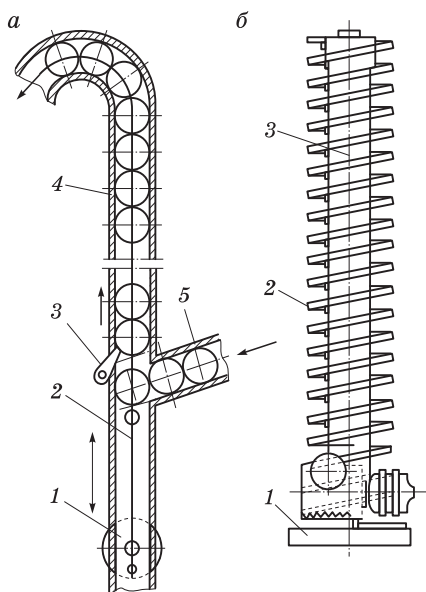


Рис. 2.34. Схемы межоперационных подъемников:  
а — толкающий; б — вибрационный

от них — к станкам, а от станков — к отводящим транспортерам. В лотках заготовки перемещаются под действием собственного веса качением или скольжением, в соответствии с чем различают *лотки-скаты* и *лотки-склизы*. Форма поперечного сечения лотков определяется формой изделия.

**Транспортеры-распределители** применяются для распределения заготовок между несколькими параллельно действующими станками. Устройство, показанное на рис. 2.35, состоит из корпуса 4, внутри которого имеется полость, соответствующая форме заготовок. Заготовки 3, поступающие из лотка 2, закатываются в полость между перекладинами цепи 5, перекатываются ею по дорожке 6 и попадают в нижнюю часть корпуса распределителя в свободную ячейку 7. Это попадание обеспечивается устройствами приема 1 и выдачи 8 заготовок.

Накопление заготовок в АЛ с гибкой связью происходит во всех звеньях транспортной системы (на подъемниках, транспортерах, распределителях, в лотках и отводящих транспортерах).

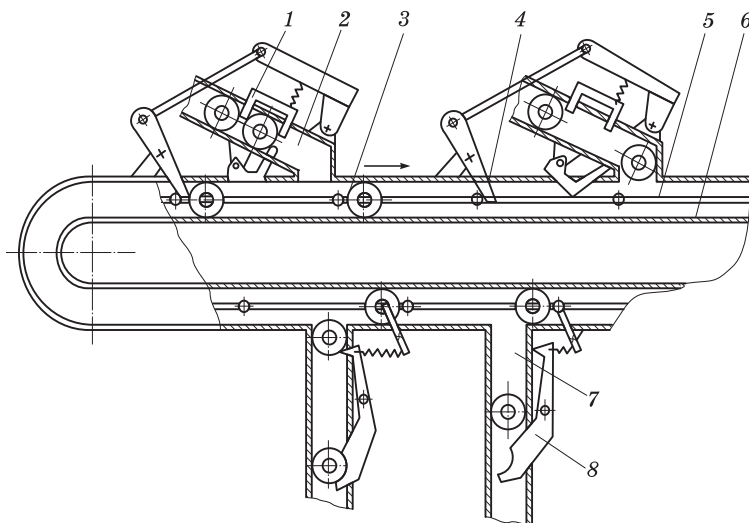


Рис. 2.35. Схема действия транспортера-распределителя

### 2.3.3. Транспортные устройства ГПС

Транспортирование изделий в ГПС может осуществляться с помощью носителей изделий или без них. В первом случае применяют специальные вспомогательные устройства, служащие для удержания перемещаемых изделий в положении, необходимом для последующего манипулирования или обработки. Изделия, находящиеся на носителях, во время транспортирования могут быть закреплены или расположены свободно. Если предмет закреплен, то в качестве носителя всегда используется палета, на которой может быть закреплено одно или несколько изделий. Закрепление для транспортирования в данном случае является также закреплением для обработки на рабочем месте. Если же предмет в ходе транспортирования не закреплен, то он удерживается на носителе за счет действия силы тяжести и необходимых опорных элементов. Одиночный предмет в этом случае также перемещается на палете, а для перемещения нескольких предметов кроме палет используют контейнеры или иные емкости.



В ГПС применяются два вида *палет*. Палеты первого вида, используемые на входе-выходе из системы, называются транспортными. Другая разновидность палет — станочные — служит для обработки деталей на конкретном станке.

Перемещения деталей типа тел вращения в ГПС осуществляются чаще всего с использованием простейших транспортных палет без закрепления на них изделий. Такие палеты выполняют одновременно функции транспортирования и складирования. К палетам для складирования и транспортирования корпусных деталей можно отнести палеты со смонтированными на них крепежными приспособлениями или специальные транспортные палеты. Наиболее распространены станочные (входящие в комплектацию ГПМ), транспортные и вспомогательные палеты.

В случае использования *станочных палет*, входящих в комплектацию ГПМ, заготовка крепится на них вне пределов рабочей зоны, параллельно с обработкой другой детали. После этого она перемещается в рабочую зону, где автоматически фиксируется для обработки.

*Транспортные палеты* (рис. 2.36) используются в ГПМ и ГПС. Они состоят из корпуса 1 и пластиковых вставок 2, количество которых определяется числом транспортируемых объектов. В каждой из вставок выполнено гнездо 3 соответствующей формы, служащее для размещения деталей и обеспечивающее им строго определенное положение в процессе транспортирования.

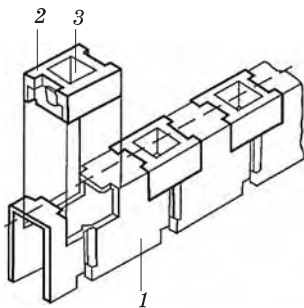


Рис. 2.36. Транспортная палета

*Вспомогательная палета* представляет собой стальную раму. В нее предварительно помещается деталь, а затем она при помощи транспортеров перемещается к станку. Такие палеты

используются для создания межоперационных заделов при безлюдной обработке партии деталей (в третью смену), поскольку они намного дешевле станочных.

**Автоматизированные устройства для транспортирования палет** с закрепленными изделиями в ГПС могут быть специальными или универсальными. К ним относятся:

- тянущие транспортеры — перемещение изделий осуществляется на палетах, закрепленных на несущих плитах;
- ленточные транспортеры — предметы перемещаются одиночно либо в контейнерах, лента опирается на ролики либо плоские беговые дорожки (рис. 2.37);
- многозвенные цепные транспортеры (рис. 2.38);

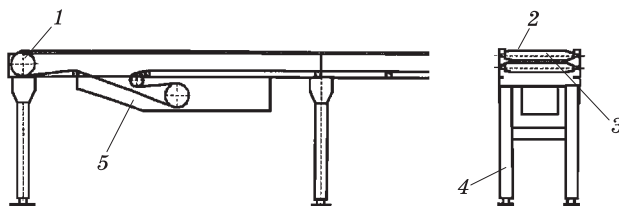


Рис. 2.37. Схема ленточного транспортера:

1 — передний барабан; 2 — лента; 3 — поддерживающие ролики; 4 — несущая конструкция; 5 — привод

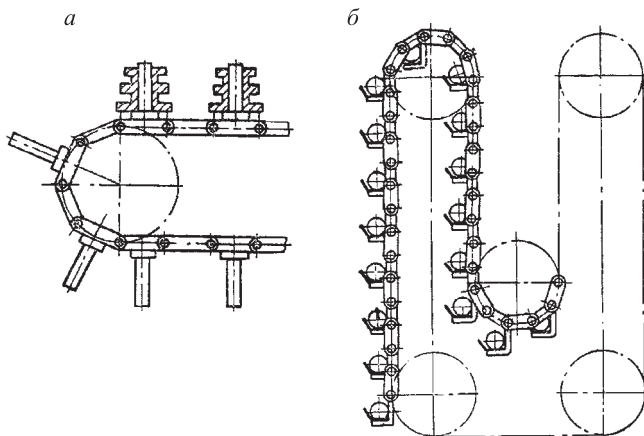


Рис. 2.38. Цепные транспортеры:

а — барабанный с центрирующими оправками; б — элеваторный

- роликовые транспортеры (рис. 2.39) — предметы могут перемещаться непосредственно по роликам, размещаться в контейнерах или на палетах;
- подвесные транспортеры (рис. 2.40) — детали могут перемещаться поодиночке либо в контейнерах с использованием транспортных тележек, подвесных крюков и т.д.;
- рельсовые тележки (рис. 2.41) используются в первую очередь в производственных системах с жесткой структурой для обработки корпусных деталей; тележки перемещаются вдоль прямой трассы между рабочими местами;

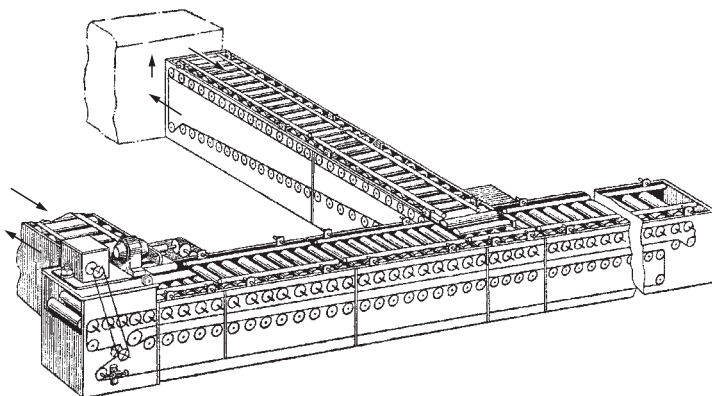


Рис. 2.39. Роликовый транспортер с приводом

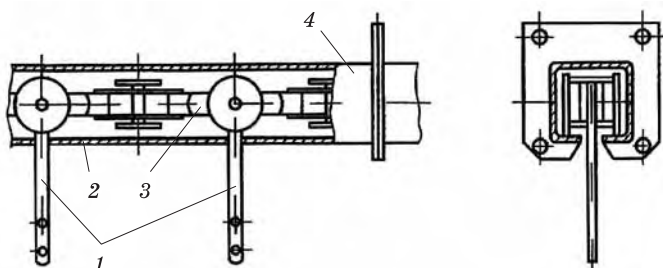
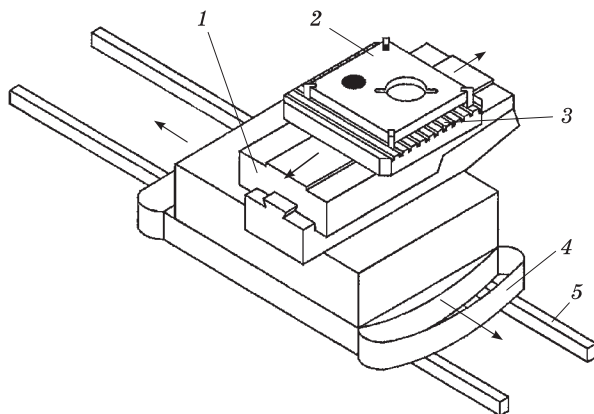


Рис. 2.40. Подвесной однорельсовый транспортер:  
1 — крючья; 2 — рельс; 3 — цепь; 4 — короб



*Рис. 2.41. Рельсовая тележка:*

1 — механизм загрузки-выгрузки палет; 2 — деталь; 3 — палета; 4 — буфер безопасности; 5 — рельсовый путь

- безрельсовые тележки (робокары). В простейшем случае перемещение тележки определяется штрих-кодами или магнитными кодами. В определенных местах трассы установлены считывающие устройства, которые управляют функционированием механизмов перемещения тележки. Более современные конструкции тележек обеспечивают сход с трассы движения, самостоятельное движение к определенному месту и возврат на трассу. Управление перемещениями в этом случае осуществляется оптическими, лазерными, индукционными и другими системами;

- краны-штабелеры (рис. 2.42, 2.43) забирают палеты с входа в магазин и перемещают их в соответствующие ячейки. Загрузка и выгрузка осуществляются с помощью вил-клещей.

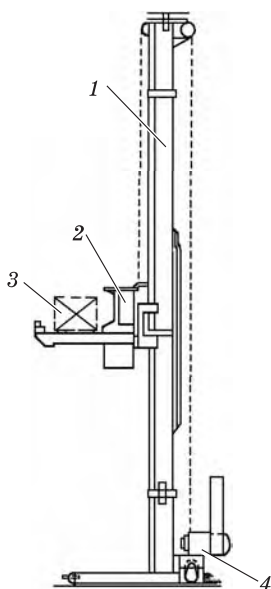


Рис. 2.42. Напольный колесный кран-штабелер:  
1 — стойка; 2 — кабина; 3 — транспортируемый груз; 4 — привод

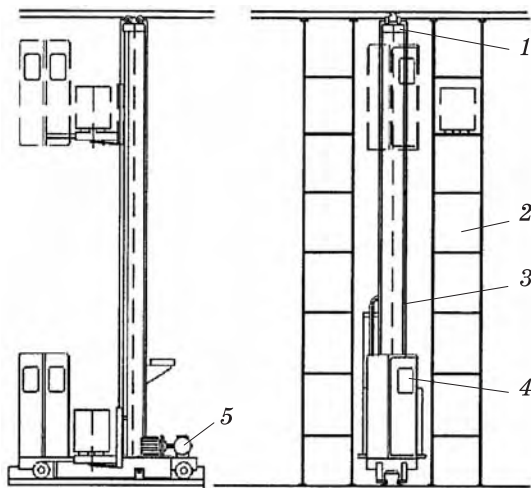



Рис. 2.43. Подвесной штабелер:  
1 — рельс; 2 — полки склада; 3 — стойка;  
4 — кабина оператора; 5 — привод

## 2.4. Автоматизация загрузки и выгрузки изделий



Экономические показатели использования оборудования в значительной мере зависят от времени, необходимого на снятие обрабатываемой заготовки со станка и установку новой. Применение систем автоматизированной загрузки-выгрузки снижает время простоев дорогостоящих станков между циклами обработки заготовок.

Для автоматизации загрузки необходимо автоматизировать три ее элемента:

- захват заготовки и транспортировку ее в зону обработки;
- установку заготовки;
- закрепление заготовки.

Для автоматизации разгрузки необходимо автоматизировать следующие элементы:

- открепление заготовки;
- снятие заготовки с установочных элементов;
- транспортировку заготовки.

Конструкция загрузочных устройств зависит от формы и размеров заготовок и условий производства.

### 2.4.1. Устройства приема и выдачи заготовок автоматических линий

В транспортных системах автоматических линий применяются отсекатели, загрузатели, разгрузатели и другие системы и механизмы.

**Отсекатели** служат для отделения заготовок от общей массы: по одной или по несколько штук одновременно. По устройству отсекатели делят на штифтовые, кулачковые, анкерные и барабанные.

**Штифтовые** отсекатели действуют за счет возвратно-поступательного или качательного движения штифтов вокруг оси (рис. 2.44, а).

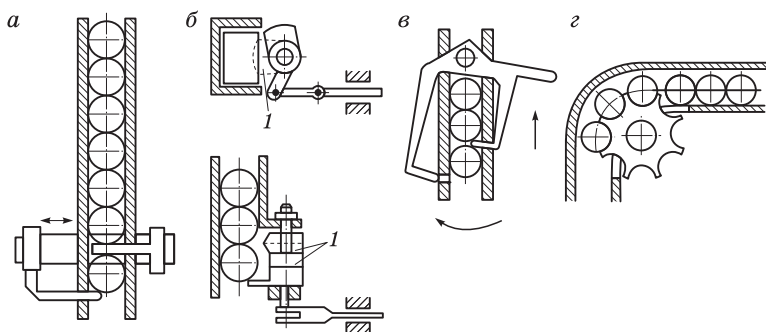


Рис. 2.44. Схемы отсекателей автоматических линий:

а — штифтового; б — кулачкового; в — анкерного; г — барабанного

*Кулачковые* отсекатели имеют пару кулачков 1, смещенных относительно друг друга так, что один из них при повороте выпускает заготовку, а другой удерживает все остальные (рис. 2.44, б).

В *анкерных* отсекателях (рис. 2.44, в) управление перемещением заготовок осуществляется качанием анкерной вилки.

*Барабанные* отсекатели имеют диски с выемками под заготовки (рис. 2.44, г). Вращаясь непрерывно или прерывисто, диск захватывает по одной заготовке, удерживая все остальные.

**Загружатели** предназначены для загрузки и транспортирования заготовок на рабочую позицию станка. Они бывают шиберные, мотыльковые, шнековые, барабанные и револьверные.

*Шиберные питатели* (рис. 2.45, а) являются наиболее распространенными. В исходном положении приемное гнездо питателя находится против отверстия лотка и заготовка западает в него. При движении шибера 2 справа налево заготовка переносится к приспособлению, где зажимается. При возвращении шибера в исходное положение планка 1 откидывается, поворачивается вокруг оси и проходит под заготовкой.

*Мотыльковый загрузатель* (рис. 2.45, б) отличается от шиберного тем, что совершает вращательное движение на определенный угол.

*Барабанный загрузатель* (рис. 2.45, в) представляет собой диск с горизонтальной осью вращения и гнездами, в которые западают заготовки.

*Шнековые загрузатели* (рис. 2.45, г) применяются для загрузки заготовок типа конических роликов.

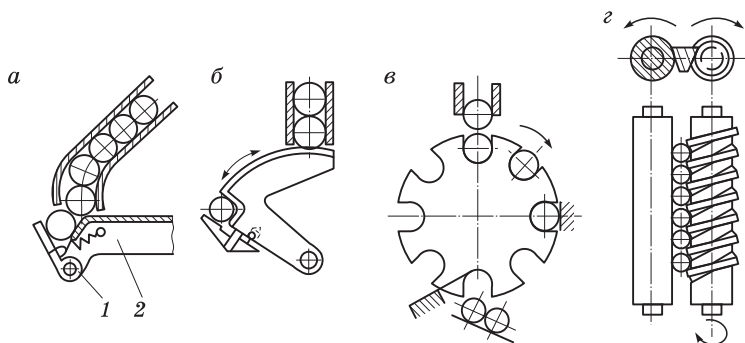


Рис. 2.45. Схемы загрузчиков автоматических линий: а — шиберный питатель; б — мотыльковый загрузчик; в — барабанный загрузчик; г — шнековый загрузчик

*Револьверный загрузчик* отличается от барабанного тем, что диск с гнездами имеет вертикальную ось вращения.

В качестве *разгрузителей* могут применяться простые толкатели и сбрасыватели.

**Манипуляторы** с механическим приводом для загрузки и выгрузки заготовок имеют определенную траекторию движения захвата, обеспечиваемую с помощью сменных копирных барабанов и кулачков. Захваты выполняются быстросменными, а форма их рабочей части соответствует форме захватываемых заготовок. *Горизонтальные захваты* (рис. 2.46, а, б) предназначены для манипуляций с вертикально расположенными стержневыми заготовками; *вертикальные* (рис. 2.46, в, г) — с горизонтально расположенными. При необходимости подавать заготовки в горизонтальном положении с зажимом по торцам или в центрах служит модификация захвата, приведенная на рис. 2.46, д. В следующих модификациях захватов (рис. 2.46, е...з) руки смонтированы повернутыми вправо, причем захват может быть расположен горизонтально (рис. 2.46, е), перпендикулярно (рис. 2.46, ж) или вертикально (рис. 2.46, з), что позволяет захватить заготовки в различных положениях с боку или с торца. Модификации захватов, показанные на рис. 2.46, и, к, позволяют брать заготовки из лотков или магазинов, смонтированных сверху над манипуляторами. Для подачи длинных стержневых заготовок используется модификация захватов, показанная на рис. 2.45, л, а для длинных ступенчатых валиков — на рис. 2.46, м.



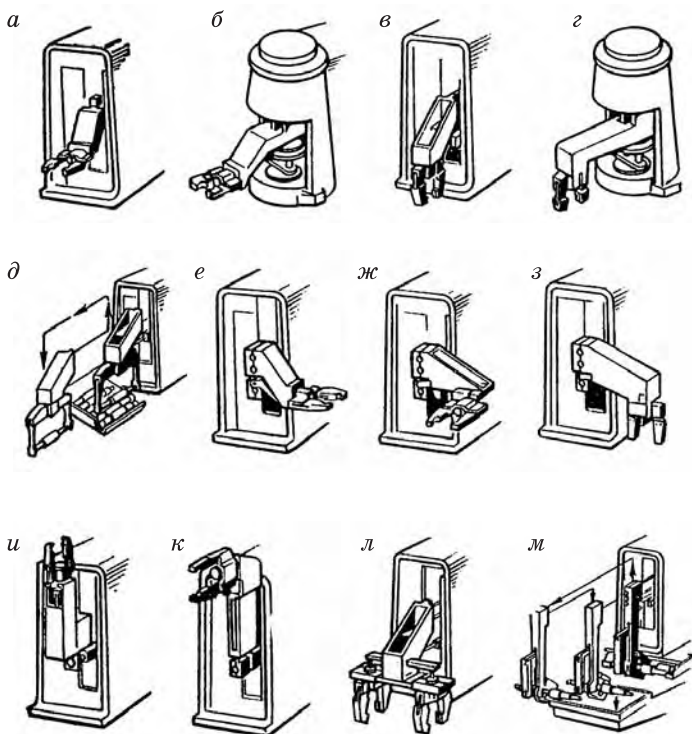


Рис. 2.46. Манипуляторы автоматических линий

**Автооператоры** — это устройства, обеспечивающие перемещение заготовок на загрузочные позиции станков и их возврат на межстаночный транспортер. Пример такого устройства для обработки заготовок типа валов приведен на рис. 2.47.

Детали перемещаются между позициями по транспортеру — лотку 3, расположенному вне рабочей зоны параллельно осям центров станков. Перемещение осуществляется с помощью шагового транспортера 2 с собачками 1, имеющими исходное положение против рабочих позиций станков. Автооператор 4 перемещает заготовку с лотка 3 в рабочую зону станка для установки и закрепления. После окончания обработки заготовка возвращается на транспортер. Перемещение автооператора в поперечном направлении осуществляется гидроцилиндром 7 и реечными передачами 5 и 6.

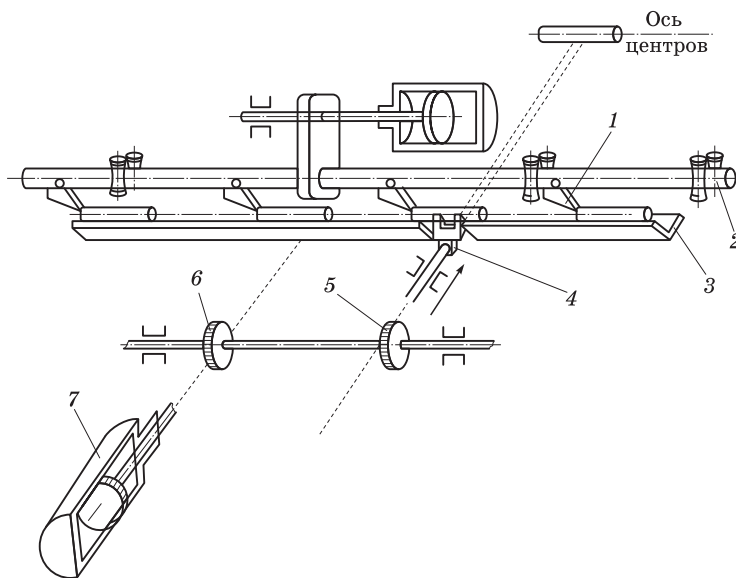


Рис. 2.47. Схема работы автооператора

Для совмещения времени установки и снятия детали используются автооператоры с двумя головками. Первая подает заготовку с транспортера в рабочую зону, вторая почти одновременно с первой перемещает обработанную деталь из рабочей зоны на транспортер.

Питатели, автооператоры, манипуляторы и т.п. устройства встраиваются в автоматическую линию или являются самостоятельным механизмом.

**Приспособления-спутники** применяются при обработке деталей сложной формы (коленчатых валов, шатунов, рычагов, корпусов), которые трудно автоматически фиксировать и закреплять на позициях обработки. Форма и габариты спутников зависят от формы и размеров обрабатываемых заготовок и способов их обработки. Заготовки крепятся в приспособлении-спутнике один раз, в начале линии, и снимаются со спутника на ее последней позиции. Эти операции, как правило, выполняются вручную.

На рис. 2.48 показана конструкция приспособления-спутника для одновременного закрепления четырех шатунов двигателя. Шатуны 5 базируются по торцам большой и малой головок.

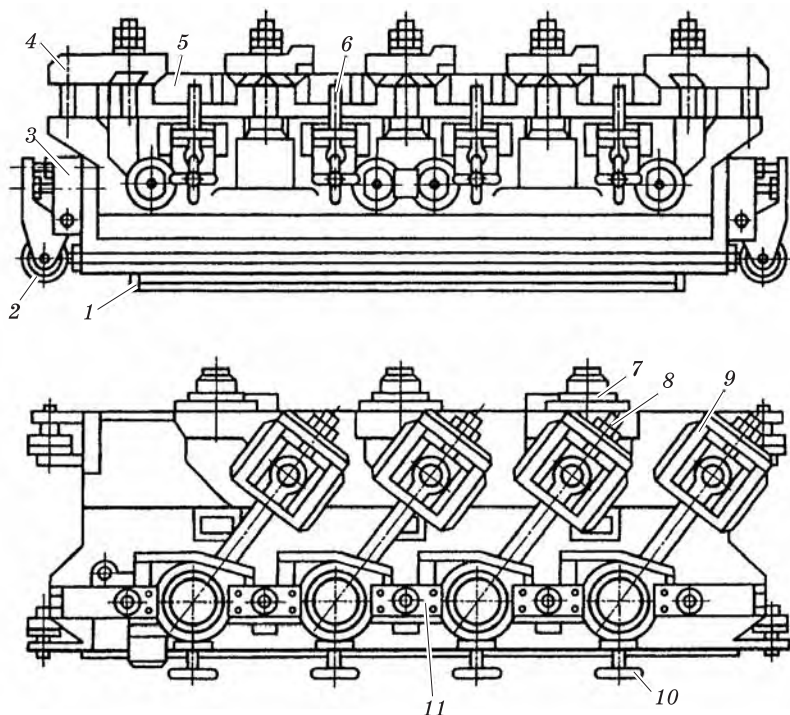


Рис. 2.48. Многопозиционное приспособление-спутник

Положение большой головки фиксируется с помощью паза 11, а малой — с помощью паза 9. На загрузочной позиции в начале линии с помощью рукоятки 10 вручную поджимают верхним концом прихвата 6 малую головку шатуна к винту 8. После этого с помощью шестерен 7, вращаемых электромеханическими ключами, движение зажима передается прихватам 4, которые окончательно зажимают шатуны. Спутник перемещается со станка на станок на четырех роликах 2 по двум планкам 1. На рабочих позициях станков спутники прижимаются к планкам двумя гидроцилиндрами. В этот момент ролики 2 поднимаются вверх и сжимают пружину 3.

**Устройства возврата спутников** перемещают приспособления-спутники от конца автоматической линии к ее началу, на загрузочную позицию. Транспортёр возврата 5 может

находиться под основным рабочим транспортером 4 (рис. 2.49, а). Спутники 3 с помощью вертикального столика 6 опускаются на транспортер возврата 5, захватываются им и переносятся в начальное положение, после чего поднимаются подъемником 1 и поступают на позицию загрузки 2.

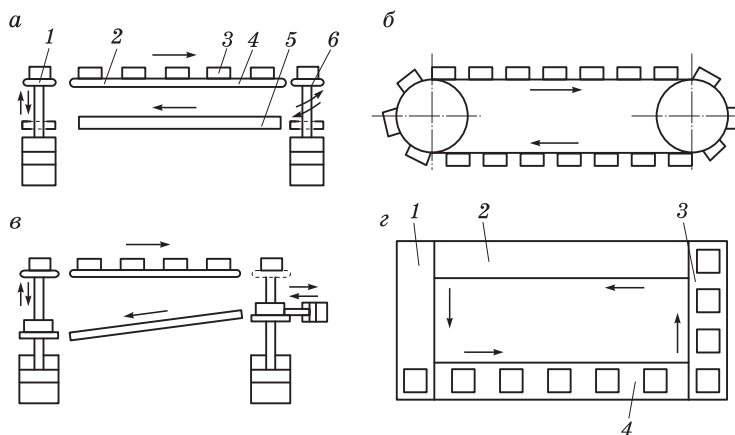


Рис. 2.49. Схемы устройств возврата приспособлений-спутников

На коротких автоматических линиях и при небольшой массе спутников для возврата могут использоваться цепные транспортеры (рис. 2.49, б) или лотки-склизы (рис. 2.49, в).

Наиболее широко используются системы возврата, в которых транспортер возврата 2 расположен в одной горизонтальной плоскости с основным рабочим транспортером 4 (рис. 2.49, г). Они соединены между собой боковыми транспортерами 1 и 3. Такое расположение требует больших производственных площадей, но упрощает обслуживание и ремонт системы.

### 2.4.2. Устройства приема и выдачи заготовок ГПС

Основная тенденция развития многоцелевых станков — повышение их производительности. Поскольку при обработке корпусных деталей весьма значительное время требуется на их установку и снятие, существует несколько направлений его сокращения.

В случае ручного закрепления — открепления деталей используются два стола (рис. 2.50). В этом случае на столе  $S1$  выполняется обработка, а на столе  $S2$ , находящемся вне зоны обработки, — замена детали. Столы могут перемещаться прямолинейно или поворачиваться на  $180^\circ$ . В последнем случае рабочие столы устанавливаются на общем поворотном столе  $S3$ .

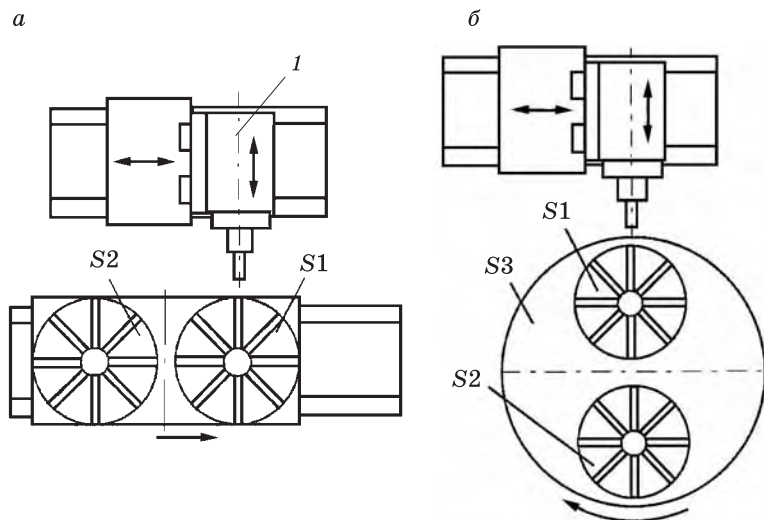


Рис. 2.50. Схемы работы многоцелевого станка с двумя столами:  
 а — перемещение по прямой; б — поворот

В случае автоматической замены деталей, установленных на палетах, станок комплектуется *устройством замены палет* (рис. 2.51). Во время обработки на станке детали, установленной на палете  $P1$ , оператор устанавливает новую деталь на палету  $P2$ . В соответствии с циклом обработки палета  $P1$  с обработанной деталью перемещается по направляющим из рабочей зоны, а палета  $P2$  — на стол станка. Далее происходит замена детали на палете  $P1$ , и цикл повторяется.

Замена палет происходит следующим образом (рис. 2.52). На поворотном столе 8 и расположенной слева от него загрузочно-разгрузочной позиции А находятся палеты 4 и 5. Они имеют горизонтальную базовую плоскость и планки 2 и 3, позволяющие

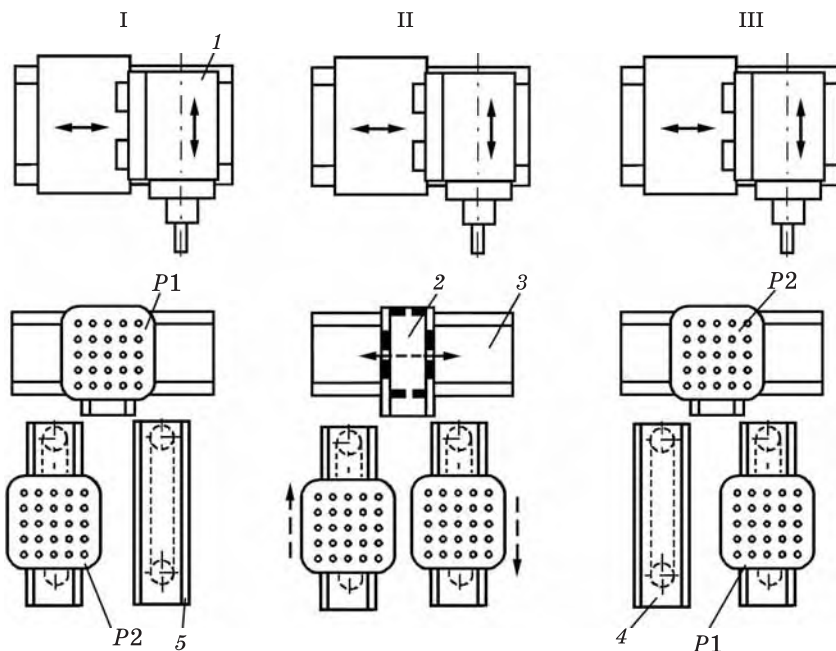


Рис. 2.51. Схема функционирования устройства замены палет:  
 1 — шпиндель; 2 — стол станка; 3 — направляющие стола; 4 — механизм перемещения палет; 5 — направляющие механизма перемещения палет;  
 I...III — гибкие производственные модули

точно ориентировать заготовку в пространстве. Сетка резьбовых отверстий служит для расстановки базовых и крепежных элементов.

Справа от стола станка находится вторая загрузочно-разгрузочная позиция *Б*. Если на палете 5 закреплена заготовка, станок выполняет ее обработку сначала с одной, а затем — после поворота стола вместе с палетой — с других сторон. За это время на палету, находящуюся в позиции *А*, устанавливают вторую заготовку. Когда обработка первой заготовки закончится, палета 5 автоматически передвинется в позицию *Б* для разгрузки, а на ее место поступит палета 4 со второй заготовкой. В дальнейшем «маятниковое» движение палет будет повторяться. Для перемещения палет с позиций *А* и *Б* используются поддерживающие 6 и направляющие 1 ролики. Поворотный стол установлен на

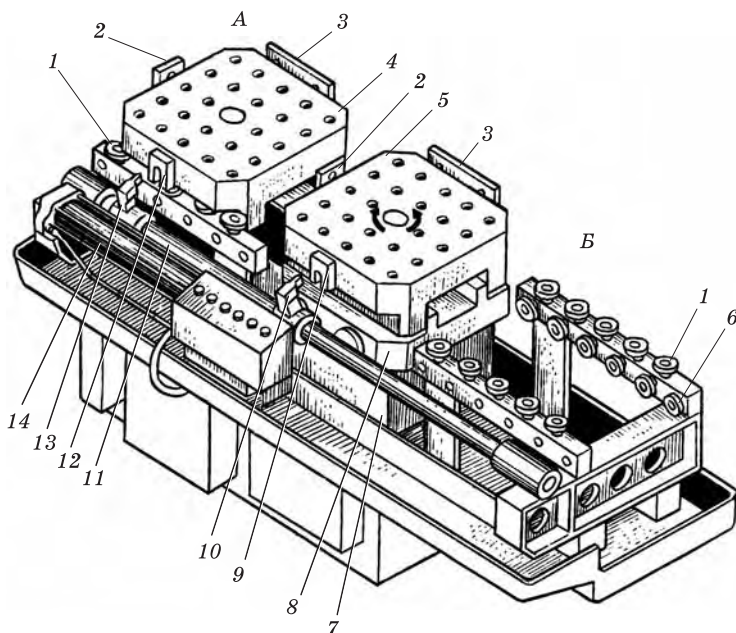


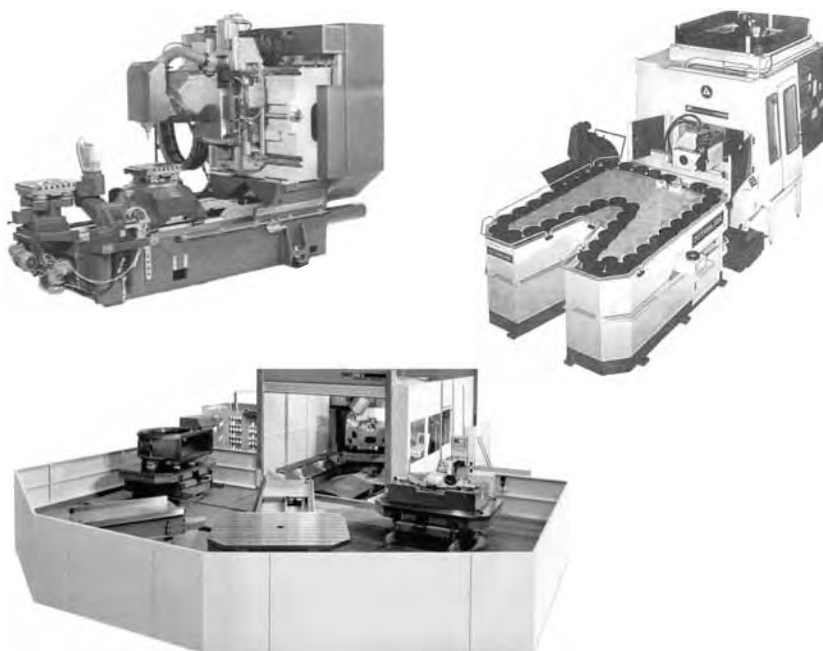
Рис. 2.52. Загрузка заготовок на станок с применением палет

жесткой станине 7. Движение обеспечивается гидроцилиндром 14, шток которого связан с кареткой 11. На ее концах имеются захваты 10 и 13, которые входят в зацепление с замками 9 и 12 палет. После зацепления каретка и палета, установленная в рабочей позиции, поворачиваются относительно горизонтальной оси.

Примеры станков, оснащенных устройствами смены палет, приведены на рис. 2.53.

Для обработки тел вращения в условиях ГПС функции загрузки и выгрузки выполняются *специализированным* роботом, выполненным как одно целое со станком, *портальным* роботом или *универсальным* отдельно стоящим *роботом*. Первая разновидность робота обслуживает станок спереди (рис. 2.54, а). Универсальный робот также подает детали в зону обработки, находясь спереди станка (рис. 2.54, б). Такое решение используется при обработке небольших деталей, поскольку доступ в зону обработки затруднен. Портальные роботы (рис. 2.54, в, г) расположены над станком и подают заготовки сверху. Это обеспечивает легкий доступ в зону обработки.



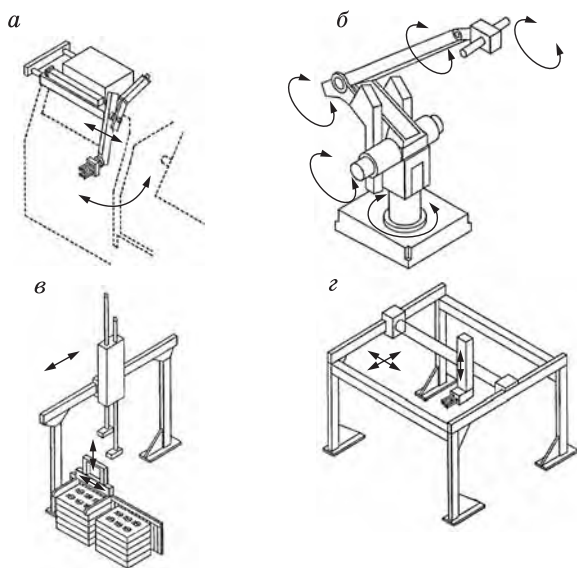


*Рис. 2.53. Многоцелевые станки с устройствами смены палет*

Линейные роботы и манипуляторы используются главным образом на ГПМ. Такие устройства являются устройствами циклического действия и служат для перемещения палет, являющихся магазином обрабатываемых деталей, в такт с движениями робота, чтобы после обработки деталей из одного ряда перейти к обработке деталей из другого ряда (рис. 2.55). В результате обеспечивается обработка деталей, расположенных в узлах плоской горизонтальной поверхности (в рядах и колонках).

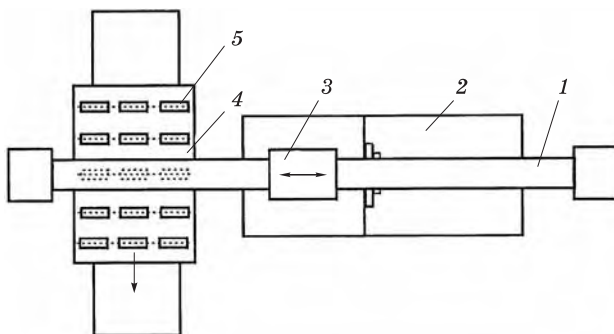
Линейные роботы могут обслуживать любые одноуровневые одно- и многорядные магазины, не имеющие возможностей перемещения, а также одноуровневые дисковые поворотные магазины. Перемещение очередной заготовки непосредственно под механическую руку обеспечивает магазин. При необходимости обслуживания многоуровневых магазинов (штабели палет) манипуляторы действуют совместно с устройствами для перекладывания палет.





*Рис. 2.54.* Основные типы манипуляционных устройств, используемые в ГПС:

*а* — манипулятор, установленный на станке; *б* — универсальный свободно стоящий робот; *в* — порталный одноосный манипулятор; *г* — порталный двуосный манипулятор




*Рис. 2.55.* Схема использования циклического подающего устройства:  
 1 — токарный станок; 2 — порталный робот с перемещением по одной оси; 3 — тележка с механической рукой; 4 — палета; 5 — детали на палете, уложенные рядами

Портальные манипуляторы ГПМ часто обеспечивают снабжение не только заготовками, но и инструментами. В этом случае на одних и тех же раме и направляющих действуют две независимые тележки с механическими руками.

Роботы-манипуляторы могут использоваться также для смены палет.

## 2.5. Автоматические системы инструментообеспечения



Эффективность работы оборудования во многом зависит от условий работы инструментов. Правильный выбор принципов перемещения инструментов, их расположения на станке, способа смены в ходе обработки детали способствуют минимизации потерь времени и повышают производительность обработки.

### 2.5.1. Транспортирование режущих инструментов

В условиях ГПС используются различные транспортные системы для автоматической подачи нового инструмента и удаления изношенного или сломанного, обеспечивающие возможность работы по безлюдной технологии. Станки могут оснащаться дополнительными (буферными) накопителями, в которых хранятся инструменты для автоматической замены неисправных инструментов в магазинах станков.

Дополнительные магазины с автооператорами могут быть установлены непосредственно на станке (рис. 2.56) либо в виде отдельных агрегатов, обслуживающих этот станок и расположенных рядом с ним. В качестве дополнительных используются многоярусные накопители барабанного типа, в которых устанавливается 5 или 10 одинаковых инструментальных надставок в 12 или 24 позициях (рис. 2.57, а). При выходе инструмента из строя автооператор берет надставку из следующего яруса.

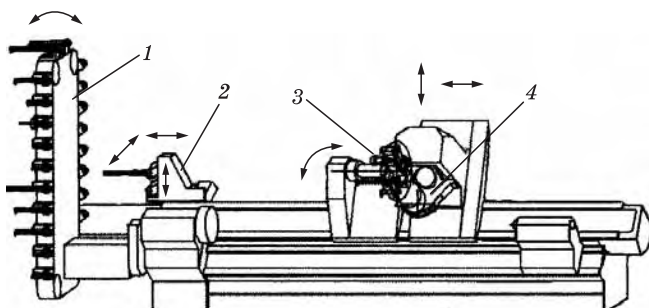


Рис. 2.56. Система смены инструментов токарного многоцелевого станка Heynumat 35 фирмы Heylingenstaedt Werkzeugmaschinen GmbH: 1 — основной магазин; 2 — линейный робот-манипулятор; 3 — промежуточный магазин; 4 — инструментальная головка

Дополнительные накопители могут также обслуживать группу станков, в этом случае они устанавливаются вдоль линии станков сзади них. Замена инструментов в магазинах станков осуществляется одним портальным автооператором. Накопители могут быть также объединены с 6-позиционными кассетами, в которых установлены определенные группы режущих инструментов (рис. 2.57, б).

а



б

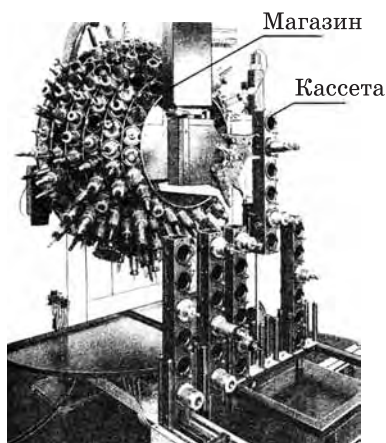


Рис. 2.57. Накопители режущих инструментов

Для транспортировки инструмента между центральным магазином, расположенным под станком, и магазином инструментов станка служит специальное подъемное устройство с кассетами, обеспечивающее вертикальное перемещение инструмента. Разгрузка-загрузка кассет и передача инструмента в магазины станков осуществляются с помощью автооператора.

В производстве применяют также сменные инструментальные магазины. Автоматическая замена магазина осуществляется на станках в момент смены заготовок. Установленный ранее магазин снимается, и на его место устанавливается новый с инструментами для обработки следующей детали. Это позволяет заранее вне станочной системы подготовить все инструменты. При этом возможна работа по принципу: одно наименование детали — один магазин. В накопителе может находиться до пяти магазинов.

Склады-магазины для инструмента могут быть различных конструкции и типов (например, кассетные, стеллажные, карусельные, ячеистые; магазины, конструкция которых напоминает соты, и др.). Наиболее широко применяются стеллажи-накопители и склады-магазины инструментов, представляющие собой многорядные цепные магазины инструментов с перемещением цепи в горизонтальной или вертикальной плоскости.

В ГПС может быть использована автоматизированная подача со склада в магазин станка инструмента, необходимого для обработки новой детали и удаления из магазина поломанного или изношенного инструмента. Для этой цели применяют магазины, установленные на автоматической тележке (робокаре). На складе магазин тележки комплектуется требуемым инструментом. Перед началом обработки партии заготовок тележка перемещается к станку, где фиксируется в требуемом положении. Во время работы станка инструмент из магазина, установленного на тележке, подается в магазин станка или шпиндель автооператором станка. При этом управление автооператором осуществляется ЧПУ станка.

### 2.5.2. Станочные инструментальные магазины

В подавляющем большинстве случаев для обработки корпусных деталей необходимо значительное количество разнообразных режущих инструментов. Для их размещения на станке

используются различные инструментальные магазины — дисковые, барабанные и цепные. *Дисковые* (рис. 2.58, а) служат для размещения сравнительно небольшого числа инструментов, обычно не более 30. *Барабанные* отличаются от дисковых способом размещения инструментов и конструктивным исполнением. *Цепные* магазины имеют большую емкость (60...100 инструментов и более) и могут быть вертикальными (рис. 2.58, б), горизонтальными (рис. 2.58, в), наклонными, прямоугольными, треугольными, квадратными (рис. 2.58, г) и более сложной (рис. 2.58, д, е) формы. Это обеспечивает компактность и возможность легкого доступа к магазину для загрузки инструментов. Используются также *многоярусные* дисковые и барабанные магазины большой емкости (рис. 2.58, ж), имеющие, однако, значительные габариты и сложную конструкцию.

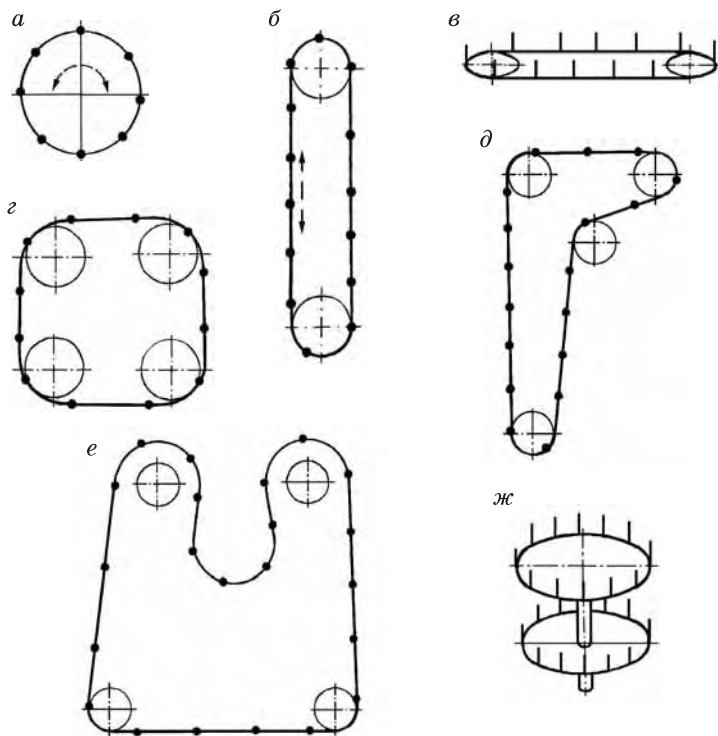


Рис. 2.58. Схемы инструментальных магазинов

### 2.5.3. Автоматизация смены режущих инструментов

Одна из особенностей автоматизированного оборудования — автоматическая смена инструмента. Она осуществляется с помощью устройств, передающих инструмент из магазина-накопителя в шпиндель станка и обратно.

Из всех конструкций устройств автоматической смены инструмента наиболее простой является конструкция с *инструментальным магазином*, установленным *на шпиндельной головке*. В этом случае отсутствует инструментальный автооператор, и используются магазины дискового или револьверного типа.

На рис. 2.59, *а* показана схема работы устройства многоцелевого станка для автоматической смены инструмента с дисковым магазином на 15 инструментов. Смена инструмента и транспортирование его из магазина в посадочное гнездо шпинделя осуществляются осевым перемещением шпинделя. Инструменты устанавливаются в магазине в соответствии с последовательностью обработки детали.

Перед установкой очередного инструмента шпиндель находится в верхнем положении над магазином соосно с закрепленным в нем посредством фиксаторов блоком инструмента. При опускании шпинделя вниз конус втулки входит в гнездо шпинделя и автоматически закрепляется. В рабочем положении шпиндель проходит через отверстие магазина. После выполнения очередного перехода шпиндель поднимается в верхнее положение и инструмент входит в отверстие магазина (позиция I). При дальнейшем перемещении шпинделя втулка с инструментом раскрепляется и удерживается в магазине фиксаторами (позиция II). После того как шпиндель поднимется в крайнее верхнее положение, магазин поворачивается в положение, при котором гнездо со следующим инструментом устанавливается соосно со шпинделем (позиция III). Шпиндель опускается вниз, захватывая инструмент из магазина, закрепляет его и перемещается к обрабатываемой заготовке для выполнения очередного перехода.

Магазин 1 револьверного типа (рис. 2.59, *б*) устанавливается на шпиндельной бабке таким образом, что один из инструментов 3 магазина будет соосным со шпинделем 2 станка. Шпиндель

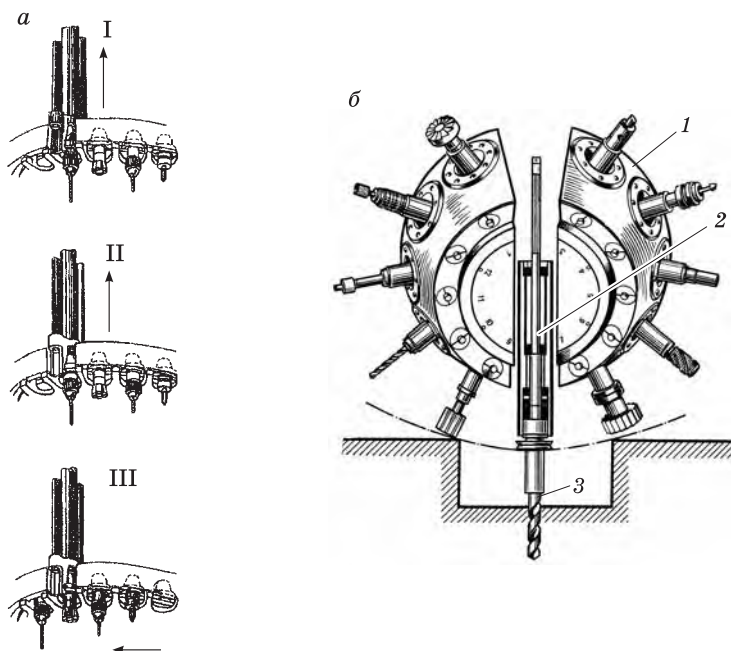


Рис. 2.59. Устройства для смены инструмента осевым перемещением шпинделя

станка, передвигаясь вдоль оси, захватывает инструмент из магазина и перемещает его в зону резания. При обратном ходе шпинделя инструмент отсоединяется от него и закрепляется в магазине. После этого магазин поворачивается по заданной программе в требуемую позицию так, что очередной инструмент располагается соосно со шпинделем станка. В магазинах такого типа устанавливается 12...16 инструментов.

Чтобы разместить инструментальный магазин вне рабочей зоны станка, его поднимают над шпиндельной бабкой или выносят в сторону от нее, а иногда устанавливают на отдельную стойку. Во всех этих случаях оси инструментов в магазине и шпинделе не совпадают, но могут быть параллельными между собой. Такое размещение требует дополнительного движения, необходимого для совмещения осей сменяемого инструмента и шпинделя. При горизонтальной оси шпинделя (рис. 2.60, а) магазин 1 размещают на вертикальных направляющих стойки над

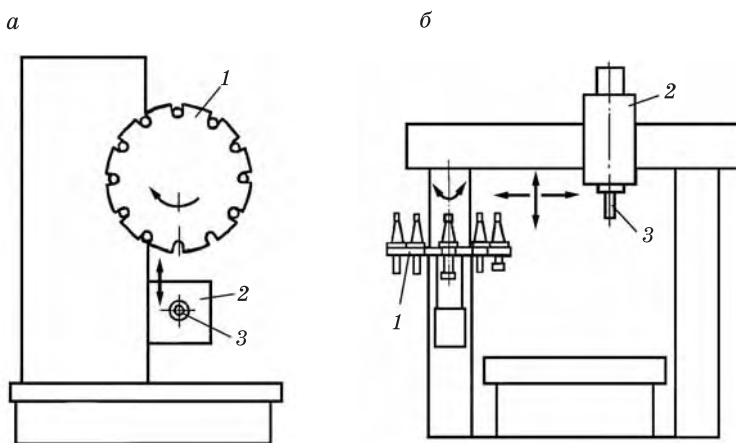


Рис. 2.60. Смена инструмента при параллельном расположении шпинделя и магазина

шпиндельной бабкой 2. Дискový магазин 1 опускается и свободным гнездом-вырезом захватывает оправку сменяемого инструмента, которая перед этим автоматически раскрепляется. Вслед за этим ползун магазина перемещается вдоль оси шпинделя 3, и оправка с инструментом остается в гнезде магазина. Затем магазин поворачивается для поиска следующего инструмента. После совмещения нового инструмента со шпинделем следует ход вперед ползуна магазина, и инструментальная оправка закрепляется в отверстии шпинделя. Магазин поднимается за пределы рабочей зоны, шпиндель быстро подводится к заготовке. При вертикальном шпинделе в ряде конструкций станков предусмотрен быстрый подвод шпиндельной бабки 2 из рабочей позиции до совмещения осей шпинделя 3 и отверстия в магазине 1 (рис. 2.60, б). Остальные движения аналогичны рассмотренным выше.

Во многих случаях потребная емкость магазина составляет 20...60 инструментов, а иногда более 100. В этом случае станок комплектуется **инструментальным автооператором**.

Существуют две принципиальные схемы работы автооператоров:

- 1) с вращательным и двумя поступательными перемещениями;
- 2) с вращательным и поступательным перемещением.



В первой схеме (рис. 2.61, *а*) автооператор 1 совершает ход снизу вверх, захватывает оправку инструмента, находящегося в гнезде, и вытаскивает ее, перемещаясь вдоль оси инструмента. Инструмент, находящийся в шпинделе, запирается захватом при перемещении корпуса (каретки) автооператора вниз. Затем автооператор ходом вдоль оси шпинделя вытаскивает отработавший инструмент. Поворотом автооператора вокруг своей оси на  $180^\circ$  к шпинделю подводится сменяемый инструмент. Ходом вдоль оси инструмент «заталкивается» в шпиндель, где автоматически закрепляется. После этого каретка автооператора передвигается вверх, перемещая отработавший инструмент в магазин 2.

Во второй схеме (рис. 2.61, *б*) автооператор 1 совершает только одно поступательное перемещение. При смене инструмента он, поворачиваясь вокруг горизонтальной оси, одновременно захватывает инструменты из магазина 2 и шпинделя, а затем ходом вдоль оси вытаскивает их, поворотом на  $180^\circ$  меняет местами и вставляет в магазин и шпиндель. Цикл смены заканчивается поворотом автооператора в горизонтальное (нейтральное) положение, при котором он не мешает повороту магазина и вертикальному перемещению шпиндельной бабки.

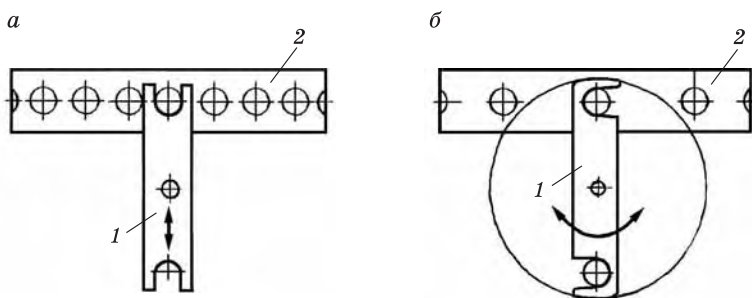


Рис. 2.61. Схемы работы автооператоров

На рис. 2.62 показана последовательность работы такого автооператора. Блок инструмента 4 установлен в шпинделе станка, а блок 1 — в гнезде магазина. Поворотный двухзахватный оператор 2 снабжен двумя вырезами с подпружиненными плунже-рами (держателями) 3. Автооператор может вращаться вокруг

своей оси и перемещаться вдоль нее. При смене инструмента автооператор поворачивается по часовой стрелке на  $90^\circ$ . При этом держатели *A* и *B* входят в канавки оправок инструментов, установленных в шпинделе и магазине соответственно. После того как зажимной механизм шпинделя освободит оправку, автооператор, перемещаясь в осевом направлении, выводит оправку из гнезд шпинделя и магазина и затем поворачивается на  $180^\circ$ . При этом отработавший инструмент устанавливается соосно с гнездом магазина, а новый инструмент — соосно с гнездом шпинделя. При перемещении оператора в осевом направлении инструменты с оправками устанавливаются в гнезда шпинделя и магазина. После закрепления оправок оператор поворачивается в исходное положение. Такие автооператоры широко применяются в автоматических устройствах для смены инструмента с дисковыми инструментальными магазинами, расположенными на шпиндельной бабке, цепными магазинами, а также для загрузки инструмента в шпиндель станка из гнезда промежуточных транспортных устройств — перегружателей инструментов.

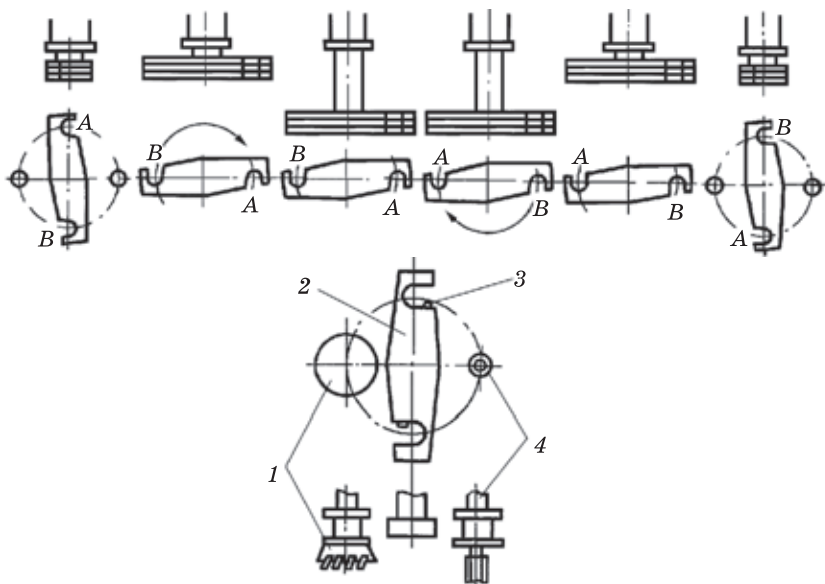


Рис. 2.62. Схема работы двухзахватного автооператора

При использовании автооператоров оси инструментов и шпинделя могут быть параллельны и расположены по горизонтали (рис. 2.63, *а*) или вертикали (рис. 2.63, *б*), а также размещаться перпендикулярно друг к другу (рис. 2.63, *в*, *г*).

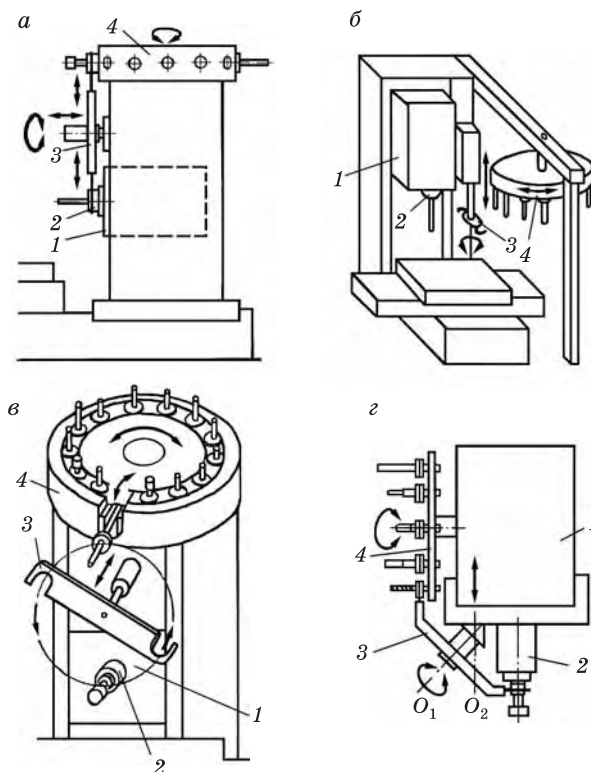


Рис. 2.63. Взаимное расположение автооператора и шпинделя станка:  
1 — шпиндельная бабка; 2 — шпиндель; 3 — автооператор; 4 — магазин

#### 2.5.4. Замена изношенных инструментов

В связи с увеличением количества инструментов, размещаемых в инструментальных магазинах, и ростом затрат времени на их замену возникает необходимость в создании новых систем автоматической замены инструмента.

При износе инструмента можно заменять либо неперетачиваемую режущую пластину, либо головку режущего инструмента вместе с пластиной, либо режущий инструмент в сборе со вспомогательным инструментом. Автоматическая смена режущих пластин, несмотря на компактность сменяемых элементов, применяется редко из-за невозможности автоматизации замены всех применяемых режущих пластин, различающихся по геометрии и типам крепления. При этом способе не решается вопрос автоматической смены осевого инструмента.

Рассмотрим примеры механизмов автоматической замены затупленного режущего инструмента. На рис. 2.64 показана схема механизма для автоматической замены резцов *1*, предварительно вложенных в магазин *2*. При перемещении в гидроцилиндре *5* поршня *4* с толкателем *3* вправо очередной резец под действием силы тяжести попадает из магазина на загрузочную площадку. В крайнем правом положении шток *7* поворачивает рычаг *8*, перемещая ползун *6* с упором *9*, продвигающим изношенный резец вперед. Сферическая головка регулировочного винта разжимает подпружиненные шарики *10*, и резец освобождается. Затем поршень перемещается влево, и толкатель *3* передвигает резец с загрузочной площадки в мерный паз державки. Новый резец, перемещаясь, выталкивает затупленный резец в сборник изношенного инструмента. Подпружиненные шарики *10* прижимают регулировочный винт резца к торцу толкателя, который воспринимает радиальную составляющую силы резания.

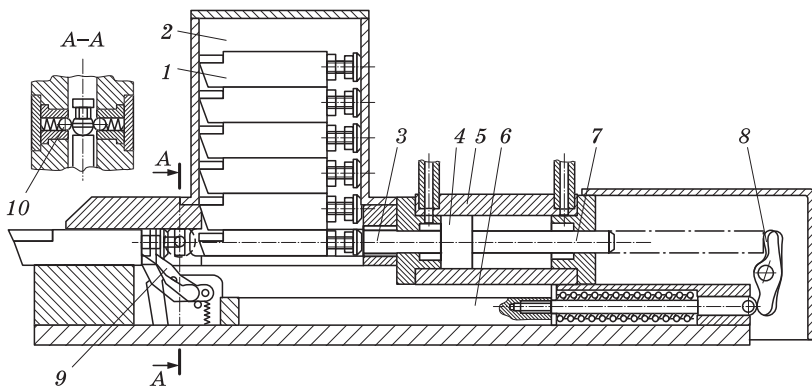


Рис. 2.64. Схема устройства для автоматической замены проходных резцов

На рис. 2.65 показана схема устройства для замены пальцевых фрез, применяемых для закругления зубьев зубчатых колес. При подаче сигнала на замену инструмента включается соленоид 9 и откидной копир 8, поворачиваясь, занимает положение «замена». По окончании резания шпиндельная бабка 3 перемещается и рычаг 6 находит на скос откидного копира 8, вследствие чего цанга разжимается. Шпиндельная бабка с разжатой цангой и фрезой продолжает перемещаться в исходное положение, при этом толкатель 7 откидного копира передвигает фрезы, которые подаются из кассеты 5. После этого они передвигаются в трубе цанги на величину хода бабки. Изношенная фреза падает в сборник, а новая занимает ее место. Далее при перемещении шпиндельной бабки на рабочую позицию рычаг 6 сходит с копира и цанга сжимается под действием пружины 4, а новая фреза 1 из кассеты 5 поступает в приемник. Необходимая точность осевого положения фрезы обеспечивается откидным упором 2. Достоинством рассмотренного устройства является замена инструмента без остановки вращения шпинделя.

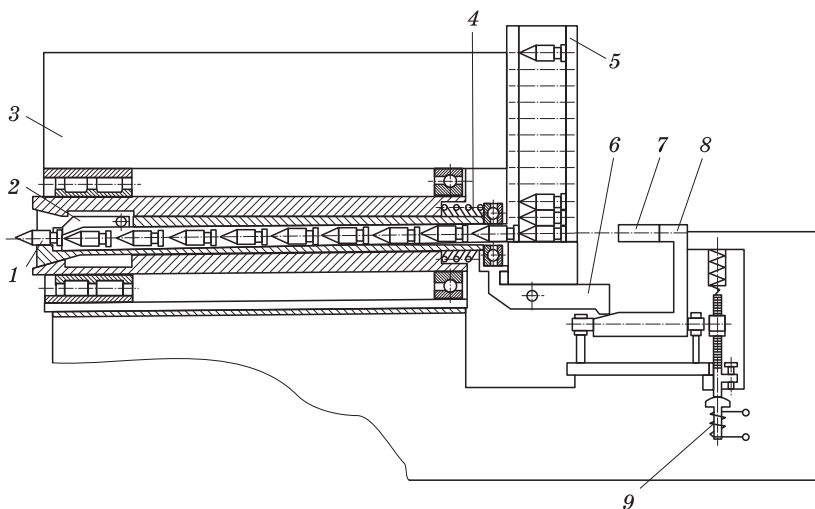


Рис. 2.65. Схема устройства для автоматической замены зубозакругляющих фрез

## 2.6. Автоматизация отвода стружки

В условиях автоматизированного производства стружка удаляется различными устройствами, которые в совокупности составляют отдельную транспортную систему. В зависимости от размещения оборудования и организации труда применяются две автоматизированные системы уборки стружки:

1) автономные конвейеры выносят стружку из станков в общий магистральный конвейер, который устанавливается вне производственного оборудования;

2) стружка транспортируется магистральным конвейером, встроенным непосредственно в производственную систему.

Выбор того или иного принципа отвода стружки зависит от конкретных условий работы автоматизированного оборудования (формы и размеров стружки, применения или отсутствия СОЖ, необходимости возврата спутников и т.д.).

Транспортные конвейеры для уборки стружки бывают механическими, пневматическими, гидравлическими и магнитными.

К *механическим конвейерам* относятся ленточные со стальной или прорезиненной лентой, скребковые, ершовые, вибрационные, шнековые.

*Ленточные конвейеры* (рис. 2.66, а) обладают высокой производительностью, могут транспортировать стружку на большие расстояния, просты по конструкции, бесшумны и экономичны в работе. К недостаткам этого типа конвейеров можно отнести быстрый износ ленты 1 и то, что часть стружки уносится холостой ветвью ленты под раму 2.

*Скребоквые конвейеры* применяют для транспортирования мелкой дробленой стружки. Они бывают двух видов: бесконечная лента 1, на которой расположены скребки (рис. 2.66, б), и штанга 2 со скребками, совершающими возвратно-поступательное перемещение (рис. 2.66, в). Скребоквые конвейеры дают возможность транспортировать стружку под значительным углом наклона и эффективно работают при переносе стружки на небольшие расстояния.

*Ершовые конвейеры* (рис. 2.66, г) представляют собой металлически желоб 3 с приваренными шипами. Внутри желоба совершает возвратно-поступательное движение штанга 2 с ершами 1.

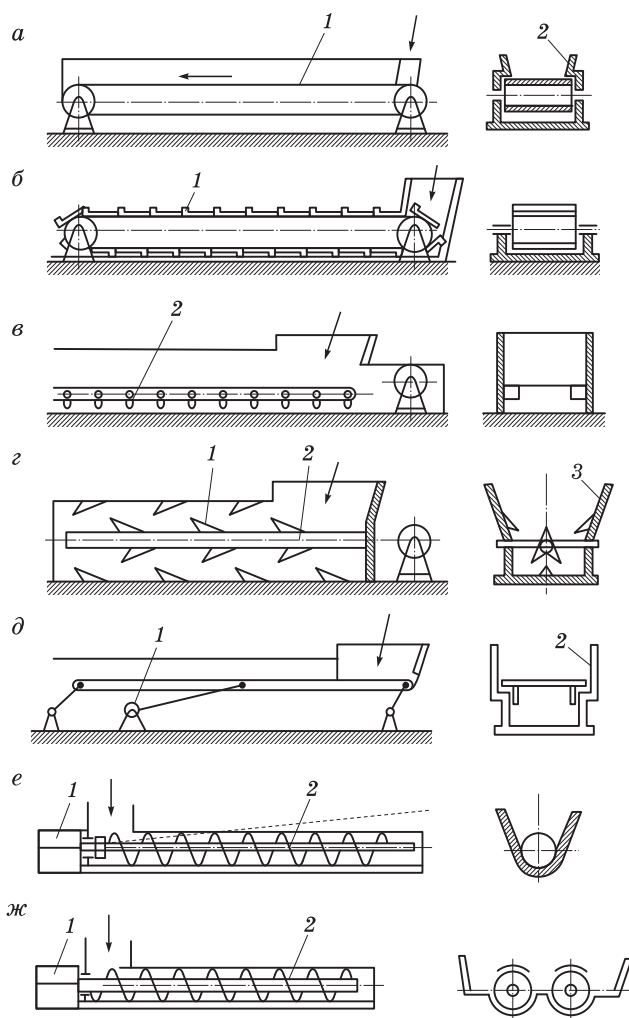


Рис. 2.66. Механические транспортеры для отвода стружки

При движении справа налево (рабочий ход) штанга ершами увлекает стружку и проталкивает ее вперед. При движении слева направо (холостой ход) штанга проскальзывает по стружке, которая удерживается шипами желоба. Наиболее эффективен этот тип конвейера при транспортировании витой или сливной стружки.

Используются для уборки стружки также *вибрационные транспортеры* (рис. 2.66, *д*), которые состоят из желоба на упругих упорах 2, совершающего вибрационное движение, и механического или электромагнитного вибропривода 1. Они одинаково эффективно используются для транспортирования как мелкой, так и витой стружки.

*Шнековые конвейеры* (рис. 2.66, *е, ж*) состоят из металлического желоба, в котором располагается винт 2, получающий вращение от привода 1. При вращении винт проталкивает стружку по желобу. Эти конвейеры выполняются с одним винтом — одношнековые (*е*) или двумя — двухшнековые (*ж*). Шнековые конвейеры надежно и эффективно работают с любым видом стружки.

*Пневматические устройства* бывают с нагнетательной, всасывающей и всасывающе-нагнетательной системами.

В *нагнетательной системе* (рис. 2.67, *а*) стружка вводится в трубопровод 4 из воронки 2 с помощью шлюзового затвора 3, препятствующего проходу воздуха в воронку. Воздушный поток, создаваемый воздуходувной установкой 1, увлекает стружку по трубопроводу 4. Воздушный поток имеет избыточное давление 0,03...0,04 МПа и скорость до 25 м/с.

Во *всасывающей системе* (рис. 2.67, *б*) стружка засасывается через воронку 2 с помощью воздушного потока, создаваемого в трубе 3 вакуум-насосом или вентилятором 1. Поток воздуха создается за счет разрежения до 0,055 МПа, и его скорость достигает 25...65 м/с.

Во *всасывающе-нагнетательной системе* (рис. 2.67, *в*) стружка засасывается из воронки 2 за счет разрежения, образуемого потоком нагнетаемого воздуха 1.

Удаление стружки с помощью пневматических устройств рекомендуется применять, если в процессе обработки заготовок образуется пылевидная стружка.

При использовании *гидравлических устройств* стружка с каждого станка 2 смывается сильной струей СОЖ и поступает в общий желоб 1, по которому движется в сборник 5 (рис. 2.67, *г*). В сборнике 5 СОЖ отделяется от стружки и подается насосом 4 по трубе 3 обратно к станкам. Стружка конвейером 6 выносится в тару.



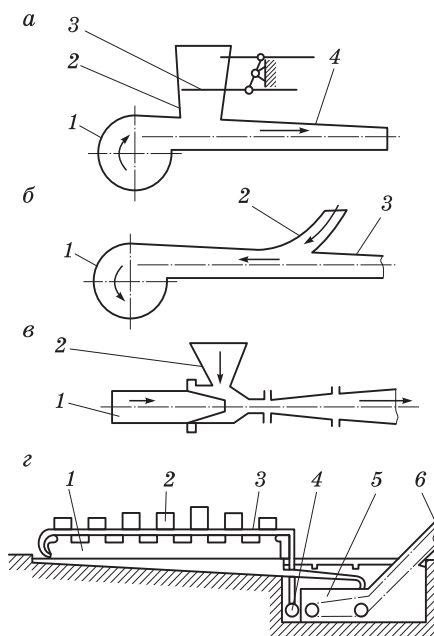


Рис. 2.67. Пневматические и гидравлические транспортеры для отвода стружки

**Магнитные устройства** предназначены для удаления мелкой, размером до 3 мм, стружки из стали, чугуна или других магнитных материалов. Их изготавливают в виде магнитных сепараторов или магнитных конвейеров. В *магнитных сепараторах* станков для абразивной обработки магнитный барабан используется как для очистки СОЖ, так и для удаления стружки и шлама (рис. 2.68, а). Снятие захваченных магнитным полем ферромагнитных частиц с поверхности барабана осуществляется с помощью скребка.

**Магнитные конвейеры** предназначены главным образом для отвода мелкой стружки от зуборезных станков, пил и т.п. При этом магниты могут быть закреплены стационарно (рис. 2.68, б) либо перемещаться вместе с цапфами роликовых цепей, которые движутся по направляющим рельсам с боков корпуса конвейера. Транспортируемая стружка перемещается вдоль листа из магнитного материала, закрывающего внутреннюю часть конвейера.

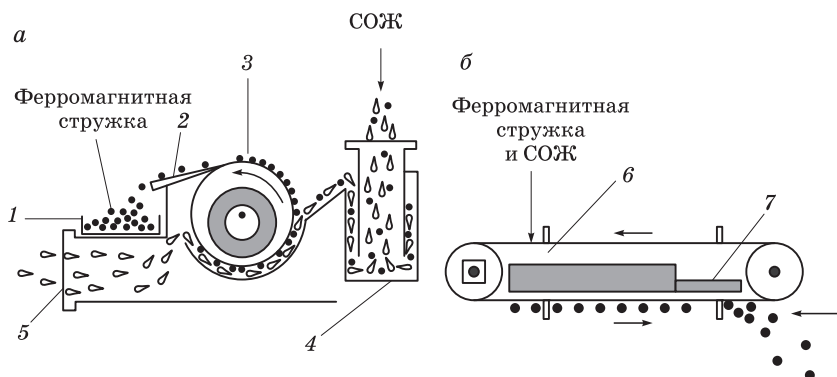


Рис. 2.68. Схемы работы магнитного сепаратора (а) и магнитного конвейера (б):

1 — мусоросборник; 2 — скребок; 3 — магнитный барабан; 4 — отстойник; 5 — слив очищенной СОЖ; 6 — магнитная плита; 7 — вспомогательная магнитная плита

## 2.7. Взаимодействие ЭВМ и производственного оборудования в условиях ГПС

Современные ГПС функционируют с использованием системы прямого (непосредственного) управления от ЭВМ в режиме реального времени.

Под такой системой понимают комплекс электронно-вычислительных средств, включающий (рис. 2.69):

- ЭВМ прямого управления, оснащенную необходимыми внешними устройствами ввода-вывода и хранения информации, а также устройствами связи с объектами управления (УСО), обеспечивающими возможность использования этой ЭВМ для подготовки программ управления производственным оборудованием, хранения этих программ и управления с их помощью производственным оборудованием;

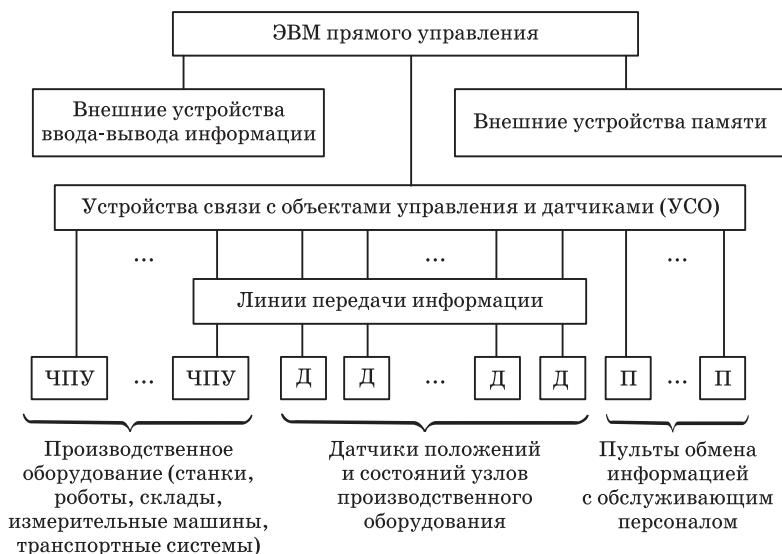


Рис. 2.69. Схема прямого управления ГПС от ЭВМ

- линии передачи информации от УСО к аппаратуре ЧПУ производственного оборудования;
- блоки сопряжения линий передачи с электронными входами приема информации аппаратуры ЧПУ, а также электронными выходами аппаратуры ЧПУ для передачи информации от аппаратуры ЧПУ к ЭВМ;
- аппаратуру ЧПУ производственного оборудования, присоединенную через блоки сопряжения и линии передачи к ЭВМ и участвующую в обмене информацией между ЭВМ и производственным оборудованием;
- датчики (Д), установленные на производственном оборудовании, присоединенные к УСО и участвующие в обмене информацией между производственным оборудованием и ЭВМ (датчики положений, датчики параметров и др.);
- пульты обмена информацией (П) между ЭВМ и обслуживающим персоналом (присоединенные через линии передачи и УСО), находящиеся у производственного оборудования, передающие директивы от ЭВМ к обслуживающему персоналу (в виде текстов, цифр и световых сигналов), а также сообщения к ЭВМ от обслуживающего персонала (через клавиатуры, переключатели, кнопки).

ЭВМ системы прямого управления использует комплекс программ, обеспечивающих выполнение процессов обработки информации как при подготовке выполнения производственного процесса, так и при автоматическом управлении его выполнением. В состав такого комплекса обычно входят:

- операционная система (комплекс программ), управляющая процессами обработки информации на ЭВМ, обмена информацией с внешними устройствами ввода-вывода, обмена информацией с присоединенным к ЭВМ через УСО электронным оборудованием объектов управления (например, аппаратурой ЧПУ) и датчиками;
- трансляторы языков программирования общего назначения;
- набор проблемно-ориентированных систем программирования, необходимых для подготовки выполнения производственного процесса (система САПР ЧПУ для подготовки программ управления станками, система планирования выполнения производственного процесса на ближайшую рабочую смену и др.);
- комплекс диспетчерских программ, разработанных для автоматического управления производственным процессом изготовления деталей;
- библиотека программ управления станками и другим производственным оборудованием для изготовления деталей различных наименований;
- базы данных, необходимых для подготовки выполнения производственного процесса;
- базы данных о текущем состоянии производственного процесса, оборудования и оснастки.

В развитой системе прямого управления вместо одной может использоваться несколько ЭВМ, объединенных в сеть, содержащую два или более уровней иерархического подчинения машин.

Прямая (проводная) передача информации по линии связи от ЭВМ к аппаратуре ЧПУ и от аппаратуры ЧПУ к ЭВМ в системах прямого управления организуется по тем же принципам, что и передача информации между ЭВМ и ее внешним оборудованием ввода-вывода (печатающими, перфорирующими устройствами, устройствами запоминания информации на магнитных носителях и др.). Аппаратура ЧПУ, присоединенная с помощью проводной линии передачи информации непосредственно к ЭВМ, выполняет функцию внешнего устройства ЭВМ.

Прямое присоединение аппаратуры ЧПУ к ЭВМ позволяет обеспечить совмещенное во времени управление большим количеством (до нескольких десятков) единиц производственного оборудования. Каждая единица оборудования может работать по собственной программе управления, хранящейся в памяти ЭВМ. При прямом управлении задержки времени, связанные с переносом с помощью обслуживающего персонала программ управления от ЭВМ к аппаратуре ЧПУ производственного оборудования, полностью исключаются.

Прямое управление от ЭВМ открыло новые возможности управления производственным оборудованием, среди которых необходимо выделить следующие:

- незамедлительная передача от ЭВМ к любой единице производственного оборудования программы управления, требуемой в соответствии с выполняемым производственным процессом;
- совмещенная во времени передача от ЭВМ к большому числу единиц производственного оборудования программ управления, требуемых в соответствии с выполняемым производственным процессом;
- незамедлительный пуск и остановка выполнения каждой из программ управления производственным оборудованием для обеспечения требуемого взаимодействия между собой отдельных единиц производственного оборудования в соответствии с выполняемым производственным процессом;
- быстрое (по сравнению с действиями человека) принятие решения о порядке продолжения выполнения производственного процесса при появлении непредвиденных изменений условий производства (отказ какой-либо единицы производственного оборудования, срочное изменение планового задания, приостановка поставок заготовок от предшествующего производственного участка).

Использование перечисленных возможностей прямого управления от ЭВМ обеспечивает высокую гибкость автоматизированного производства, недостижимую ни в одном из ранее известных автоматизированных производств, а именно:

- быстрый перевод ГПС на выполнение нового производственного процесса изготовления деталей;
- совмещенное выполнение на ГПС двух и более различных технологических процессов изготовления деталей, что позволяет приступить к выполнению нового технологического процесса на

оборудовании, освобождающемся от выполнения предшествующего технологического процесса, в то время как другие единицы производственного оборудования ГПС еще заняты завершением этого процесса;

- реализация на ГПС любого из подготовленных вариантов технологического процесса изготовления детали в зависимости от текущих производственных условий (например, в зависимости от загрузки ГПС выполнением технологических процессов);
- реализация на ГПС любого из допустимых вариантов технологических маршрутов некоторого технологического процесса изготовления детали в зависимости от состава действующего оборудования ГПС;
- выполнение производственного процесса изготовления деталей на различном составе производственного оборудования ГПС в зависимости от занятости отдельных единиц производственного оборудования ГПС, их ремонта или наладки.

Функционирование ГПС в данном случае можно обобщенно представить следующим образом (рис. 2.70). В ЭВМ, управляющую ГПС, вводят задание, в соответствии с которым должен выполняться производственный процесс. Одновременно в ЭВМ должны быть введены (или отысканы в ее запоминающих устройствах) программы управления производственным оборудованием (станками, роботами и т.п.). При готовности ГПС к работе ЭВМ начинает управлять ее производственным оборудованием. Все важнейшие сведения о ходе работы ГПС (запуск оборудования в работу, ход выполнения задания, простои, отказы и др.) фиксируются на печатающем устройстве ЭВМ в виде протоколов. Через ЭВМ проходят все информационные потоки ГПС, связанные с управлением оборудованием и обеспечивающие взаимодействие ГПС с обслуживающим персоналом.

Заготовки в ГПС доставляются к производственному обрабатывающему оборудованию с помощью транспортно-загрузочного оборудования (транспортёров, загрузчиков, роботов). В основном заготовки транспортируются и загружаются в станки с использованием специальных транспортных приспособлений (поддонов, спутников). Установка заготовок на транспортные приспособления осуществляется человеком. В простых случаях эту операцию может выполнять робот. После окончания обработки заготовки полученная готовая деталь снимается с транспортного приспособления и отправляется на склад, а освободившееся



Рис. 2.70. Схема функционирования ГПС

транспортное приспособление возвращается для установки на него вновь поступившей на ГПС заготовки. Транспортно-загрузочное оборудование ГПС обеспечивает прохождение через ГПС двух материальных потоков: заготовок и транспортных приспособлений. При установке заготовок на транспортные приспособления эти потоки объединяют. Особенность потока транспортных приспособлений — его замкнутость (транспортные приспособления с выхода ГПС всегда возвращаются на ее вход).

Аналогичные потоки имеют место в системе инструментообеспечения. Необходимые для выполнения производственного процесса инструменты, закрепленные в инструментальных приспособлениях, автоматически доставляются к станкам и загружаются в их инструментальные магазины. Настройку положения инструментов относительно инструментальных приспособлений осуществляют на специальных участках настройки инструментов.

Инструментальные приспособления с отработавшими инструментами автоматически с помощью транспортного оборудования возвращаются от станков на участок настройки инструментов. При этом образуется циклически замкнутый поток инструментов, закрепленных в инструментальных приспособлениях.

При наличии на предприятии локальной компьютерной сети прямое управление от ЭВМ оказывается еще более эффективным. Например, появляется возможность обмена информацией с конструкторским бюро относительно изменений в рабочих чертежах, с бюро подготовки управляющих программ и т.п. При этом либо на ЭВМ прямого управления, либо в бюро подготовки управляющих программ производится графическая симуляция хода обработки с ее последующей корректировкой. Это позволяет избежать аварийных ситуаций непосредственно в ходе обработки деталей.

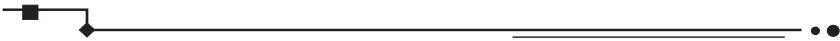




# 3

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ И КОНТРОЛЯ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

### 3.1. Структура и задачи систем диагностики



Техническая диагностика — направление научно-технических знаний, которое заключается в установлении и изучении признаков, характеризующих наличие дефектов в машинах, их узлах, элементах, с целью предсказания возможных отклонений в режимах их работы. В более широком смысле техническая диагностика занимается также разработкой методов и средств обнаружения и локализации дефектов.

Задачи, стоящие перед системой диагностики производственной системы, могут быть систематизированы в зависимости от времени, используемого для их реализации.

*Непрерывная диагностика* выполняется в течение всего времени работы системы. В качестве примера можно привести контроль силы тока в двигателях станка, сил резания, автоколебаний и т.д.

*Диагностика с короткими перерывами* основана на измерении определенных параметров в течение коротких отрезков времени или для каждой детали (например, измерение ее размеров).

*Диагностика по прохождению средних отрезков времени* выполняется для определенных узлов или систем (управления, гидравлической, охлаждения и т.п.) в начале каждой рабочей смены или при запуске новой партии деталей.

*Диагностика со значительными перерывами* выполняется в ходе регламентных работ либо длительных перерывов в функционировании станка. В этом случае проверяется техническое состояние станка и его узлов.

*Диагностика по указанию* производится после аварии либо по решению оператора и служит для проверки исправности функционирования станка.

В условиях работы ГПС можно выделить следующие направления диагностики:

- для станков, систем управления, технологических приспособлений — контроль состояния узлов и систем, перемещений деталей и режущих инструментов и т.д.;
- для режущих инструментов — идентификация, контроль и коррекция износа, определение положения вершины и т.д.;
- для обрабатываемых деталей — идентификация, контроль пространственной ориентации, размеров и предельных отклонений;
- для процесса обработки — измерение взаимных колебаний инструмента и детали.

Кроме указанных направлений диагностики может выполняться также сервисное обслуживание — тестирование узлов и систем с целью выявления неисправностей и предотвращения аварий.

Все системы диагностики можно условно разделить на три группы:

- 1) специализированные системы для контроля одного или нескольких конкретных явлений (такие системы разрабатываются по специальному заказу);
- 2) универсальные системы, условия работы которых можно изменить на основе перепрограммирования;
- 3) системы диагностики, объединенные с системой управления.

## 3.2. Диагностика состояния металлорежущих станков

Диагностика ГПС осуществляется в двух направлениях: контроль за правильным функционированием системы в целом во время работы или холостых ходов, а также контроль состояния узлов и механизмов. Выбор системы диагностики и ее состав определяются информацией о наиболее часто наблюдаемых аварийных ситуациях и их результатах, времени простоев оборудования, стоимости запчастей и трудоемкости ремонтов, влиянии того или иного узла на качество продукции и безопасность работы персонала. Современные системы надзора и диагностики основаны на использовании компьютеров, что подразумевает преобразование первичных сигналов, генерируемых датчиками, в цифровую форму.

Для диагностики *привода главного движения* часто используется информация о *потерях мощности холостого хода*. Потери зависят от частоты вращения двигателя, пройденного расстояния, состояния подшипников, условий смазывания, температуры и т.д. Показатели, измеренные в условиях стабильной работы станка, могут храниться в памяти системы диагностики как эталонное значение. Увеличение потерь мощности в течение длительного времени позволяет сделать предположение об ухудшении состояния подшипников или коробки скоростей. Мгновенное и значительное возрастание потерь свидетельствует о неисправностях элементов привода или условий смазывания.

Другой величиной, используемой для контроля привода, является *частота вращения шпинделя*. Ее контроль обеспечивает проверку правильности работы системы управления приводом, механизмов переключения скоростей (муфты, блоки колес) и передачи мощности (зубчатые и ременные передачи и т.п.).

Одновременное измерение частоты вращения и мгновенной мощности позволяет определить момент на шпинделе и предохранить привод от перегрузок. Предохранить привод от перегрузок можно также путем контроля сил и момента резания (см. ниже).

Примером диагностики *привода подачи* может служить диагностика сервоприводов подачи. Такие приводы состоят из электрических, механических и электронных подсистем. Тестирование основано на анализе ответа на посланный тестовый сигнал со стороны тех подсистем, которые могут регулировать параметры сервопривода (регулятор скорости, ограничитель динамических токов, механическая подсистема).

*Подшипники качения* во многих случаях определяют условия работы станка. Выявление дефектов их работы основано на анализе уровня температур, сопротивления движению, возникновения колебаний, уровня шума, загрязнения смазки, изменений в интенсивности акустической эмиссии. Однако наиболее часто контролируются температуры, колебания и шумы.

Измерение *температур* осуществляется с помощью специальных устройств (пирометры, тепловизоры, термоэлементы и т.д.). Температура подшипников должна быть не выше рекомендуемой. Увеличение ее на 10...20 °C уже свидетельствует о нарушениях в работе (плохое смазывание или механическое повреждение). Сравнивая условия нагревания подшипников с типовыми, можно выявить неисправности в работе соответствующего узла.

В случае использования виброакустического метода производится измерение и анализ спектра *механических* или *звуковых колебаний*, генерируемых системой при определенной частоте вращения. Полученная информация сравнивается с типовой для той или иной неисправности в работе подшипников.

### 3.3. Диагностика состояния режущих инструментов (мониторинг)

Аварийные ситуации в ходе работы ГПС, приводящие к значительным потерям времени и финансовых средств, происходят по различным причинам, в том числе:

- из-за ошибок в управляющей программе;
- ошибок в наладке и установке нулевых точек;
- ошибок оператора;

- ошибок в выборе режущих инструментов и при введении информации о них;
- отказов системы управления и электрической системы;
- отклонений в размерах заготовок и др.

При использовании компьютера для разработки технологического процесса обработки детали ошибки программирования и наладки станка можно исключить, а ошибки, связанные с режущими инструментами, существенно ограничить, выводя на экран монитора симуляцию движений инструментов в ходе обработки. Для предотвращения аварий вследствие действий оператора (ручные перемещения узлов и т.п.) в кинематические цепи станка встраивают дополнительные предохранительные муфты либо используют системы диагностики режущих инструментов, основанные на контроле уровня сил резания.

На долю режущих инструментов приходится более 40 % общего потока отказов ГПС. Это свидетельствует о необходимости контроля их состояния (текущей работоспособности) с целью быстрого принятия одного из следующих решений:

- выключение станка (наиболее простой и радикальный способ);
- корректировка управляющей программы станков с ЧПУ;
- коррекционные перемещения инструментов;
- замена работающей вершины инструмента;
- изменение подачи или частоты вращения шпинделя станка с адаптивным управлением;
- замена заготовки, непригодной для обработки, и др.

Наиболее эффективным направлением в контроле режущих инструментов является их *непрерывный контроль* (*мониторинг*). Все методы диагностики текущей работоспособности режущего инструмента можно условно поделить на методы прямого контроля, основанные на регистрации износа инструмента, и косвенного контроля, использующие физические явления, сопровождающие процессы резания и изнашивания инструмента.

### 3.3.1. Методы прямого контроля

При методах прямого контроля износ на контактных площадках инструмента измеряется непосредственно в процессе обработки. При их реализации используются вспомогательные или холостые ходы инструмента, выход инструмента или режущих кромок (зубьев) из процесса обработки.

Устройства для прямого контроля износа обеспечивают более высокую достоверность измерений и получили достаточно широкое распространение. Рассмотрим принципиальные схемы некоторых из этих устройств.

**Оптические устройства** (рис. 3.1) могут использоваться для оценки длины стержневых режущих инструментов (сверл, метчиков). Если инструмент, находящийся между источником излучения и встроенным в устройство фотоэлементом, перекрывает зону излучения, это сигнализирует о его «исправности». Контроль осуществляется либо после каждого рабочего хода, либо в перерывах между обработкой деталей.

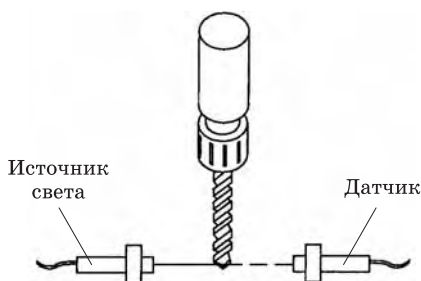


Рис. 3.1. Схема контроля длины инструмента с помощью фотоэлемента

**Лазерные устройства** позволяют не только обнаруживать поломки инструмента (либо его полное отсутствие на станке), но и выполнять измерение геометрии режущей кромки (рис. 3.2). Они могут использоваться также для одновременного контроля нескольких инструментов, например, в многошпиндельных сверлильных головках.

Контроль в таких устройствах осуществляется на основе регистрации и анализа положения первичного и отраженного лазерного или инфракрасного лучей (рис. 3.3). В основу работы устройства положен принцип оптической триангуляции. Излучение полупроводникового лазера 1 фокусируется объективом 2 на объекте 6. Рассеянное на объекте излучение собирается объективом 3 на линейке фотодиодов 4. Процессор обработки сигналов 5 рассчитывает расстояние до объекта и его форму по положению изображения светового пятна на линейке 4.

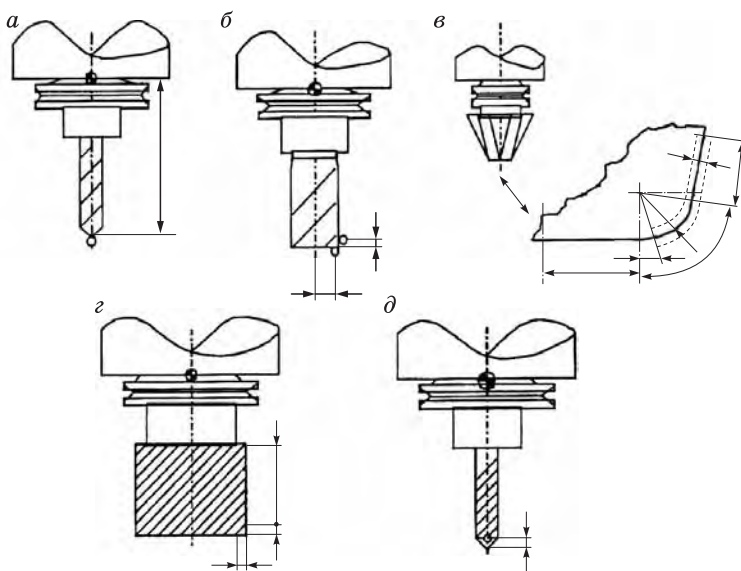


Рис. 3.2. Технологические возможности лазерных устройств:

*а* — измерение вылета стержневых инструментов; *б* — измерение вылета и радиуса расточных резцов и головок; *в* — измерение геометрии режущей кромки; *г* — измерение отклонений от прямолинейности режущей кромки;

*д* — диагностирование поломок

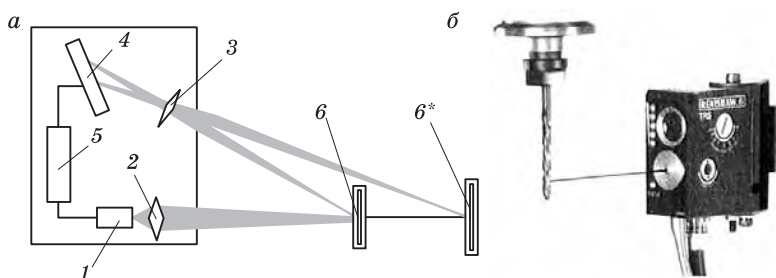


Рис. 3.3. Лазерное устройство для бесконтактного контроля:

*а* — принципиальная схема; *б* — внешний вид

**Контактные устройства** обеспечивают непосредственный контроль инструментов в процессе работы с помощью *датчиков касания* (рис. 3.4). Положения, в которых «ожидается» контакт, рассчитывает микропроцессор станка. Работа такого датчика

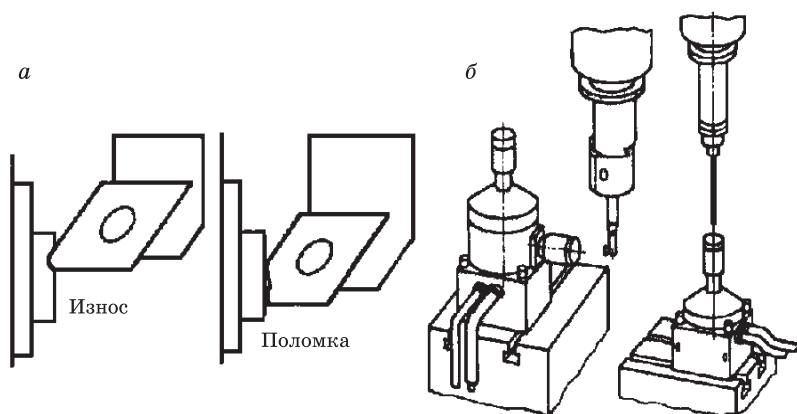


Рис. 3.4. Использование контактных датчиков и зондов: а — проверка состояния вершины резца; б — проверка стержневых инструментов

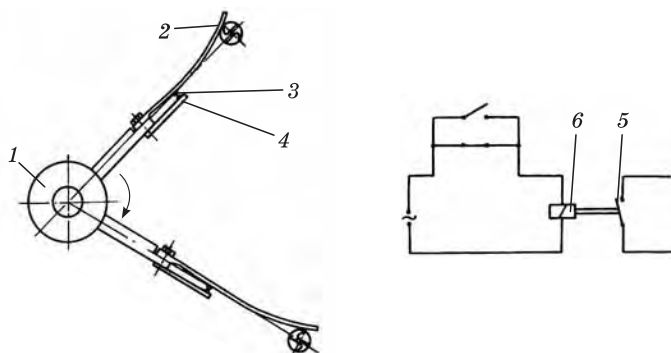


Рис. 3.5. Схема устройства для контроля целостности сверла по контакту с наконечником

аналогична работе устройств, используемых на автоматических линиях, где вращающийся наконечник замыкает электрическую цепь, что служит сигналом о целостности инструмента (рис. 3.5). В приведенной схеме при отведенном положении сверлильной головки ступица 1 с радиально расположенными гибкими пластинами 2 поворачивается и, если инструмент цел, контакты 3, 4 размыкаются. При поломке сверла контакты остаются замкнутыми, реле 6 остается под током и срабатывает выключатель 5 в цепи управления станком.



В настоящее время при контроле износа инструментов используются также *измерительные зонды*. На рис. 3.6, *а* приведена схема импульсного зонда с электроконтактным преобразователем. В корпусе 1 находятся три равно отстоящие призмы 4, электрически изолированные от него. Измерительный наконечник 5 соединен с тремя рычагами 3 со сферическими концами. Под действием пружины 2 рычаги входят в призмы и замыкают электрическую цепь. В момент контакта с измеряемым объектом 6 наконечник 5 изменяет положение, рычаг отклоняется и электрическая цепь разрывается (возникает импульс). По мере движения зонда генерируется система импульсов, которая после обработки сигналов позволяет определить координаты точек контакта.

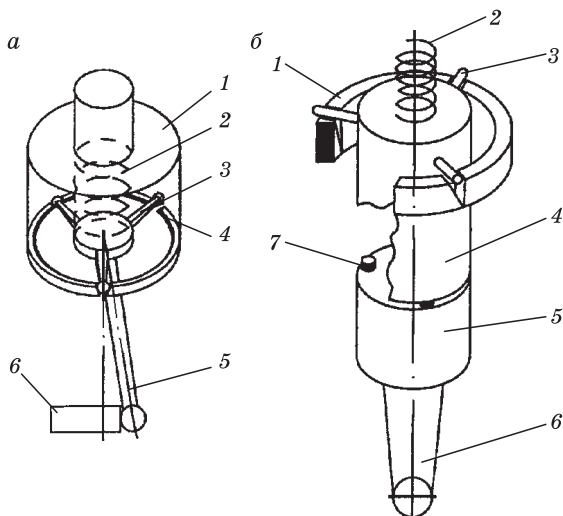


Рис. 3.6. Схемы измерительных импульсных зондов с электроконтактным (*а*) и пьезоэлектрическим (*б*) преобразователями

Погрешность измерения координат при использовании электроконтактных преобразователей колеблется в пределах 0,35...1,0 мкм, что не всегда удовлетворяет потребностям измерений.

Более высокой точностью обладают зонды с контактным пьезоэлектрическим преобразователем (рис. 3.6, *б*). В таком зонде три равнорасположенных пьезоэлектрических сенсора 7

располагаются между верхней 4 и нижней 5 частями подвижной конструкции, заканчивающейся измерительным наконечником 6. Верхняя часть зонда базируется на опорном кольце 1 с помощью трех рычагов 3. Постоянный контакт с пьезоэлементами обеспечивается пружиной 2. В момент контакта наконечника с измеряемой поверхностью происходит деформация пьезоэлементов и генерируется одиночный импульс. При дальнейшем движении наконечника генерируется так называемый подтверждающий сигнал, что в итоге обеспечивает погрешность измерений не более 0,5 мкм.

Примеры использования измерительных зондов для контроля инструментов на гибких производственных модулях показаны на рис. 3.7.

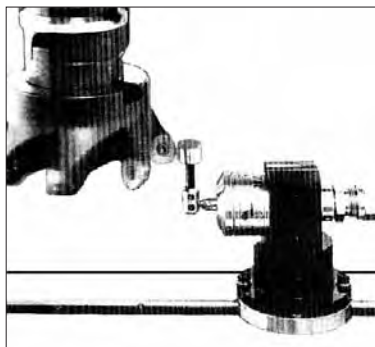
*a**б*

Рис. 3.7. Использование измерительных зондов для контроля инструментов на ГПМ:

*a* — токарном; *б* — фрезерно-расточном

**Индукционные устройства** основаны на принципе взаимодействия сердечника с магнитной катушкой, они достаточно дешевы и универсальны. В простейшем случае такие датчики используются для проверки присутствия (есть либо нет) и подсчета инструментов. Например, на рис. 3.8 приведена схема контроля сверл на автоматической линии. В кондукторной плите 3 установлены индукционные катушки 2, которые в начале рабочего хода проверяют наличие комплекта сверл (поломка в ходе обработки предыдущей детали), а при выходе сверла 1 контролируют, не осталось ли оно в детали (поломка).

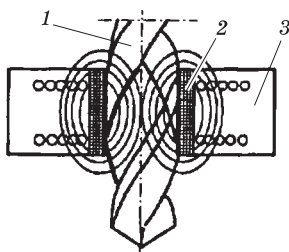


Рис. 3.8. Принцип контроля поломок сверл на автоматических линиях

**Пневматические устройства** для контроля используют перепады давления в сети сжатого воздуха. Например, в стенках кондукторной втулки 5 (рис. 3.9) друг против друга располагают каналы 6 и 7, к которым подводится сжатый воздух от источника 1. В канале 7 давление устанавливается регулятором 2, а в канале 6 — регулятором 8, при этом в канале 6 давление выше, чем в канале 7. Если сверло 4 цело, каналы 6 и 7 разобщены и давление в трубопроводе к каналу 7 недостаточно для срабатывания датчика 3. При сломанном сверле каналы 6 и 7 сообщаются, давление в канале 7 повышается, и срабатывает датчик, выключая станок.

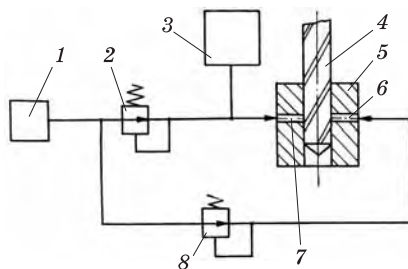


Рис. 3.9. Схема устройства для контроля целостности сверла с помощью сжатого воздуха

**Устройства, основанные на применении ультразвуковых волн**, в ходе контроля измеряют время, необходимое для прохождения ультразвуковыми волнами расстояния от измерительной головки до поверхности детали и обратно через новый и изношенный инструмент. При образовании площадки износа время сокращается, что регистрируется электронной аппаратурой и позволяет определить величину износа.

### 3.3.2. Методы косвенного контроля

Методы косвенного контроля режущих инструментов основаны на анализе изменения сил резания, мощности, температуры и других физических характеристик процесса резания в результате износа или поломки инструмента. Рассмотрим некоторые из таких устройств.

**Устройства, основанные на контроле уровня сил и мощности резания,** действуют на основе измерений силы тока и напряжения в двигателе главного движения или движения подачи (рис. 3.10). Такие устройства весьма просты, дешевы, не требуют изменений в конструкции станка, однако надежность их работы зависит от соотношения мощности резания и номинальной мощности двигателя. Если оно невелико, достоверность мониторинга резко снижается. Кроме того, такие устройства реагируют на изменения сил, связанные с возрастанием износа инструмента, со значительным опозданием, что не позволяет вовремя среагировать на катастрофический износ и поломку инструмента.

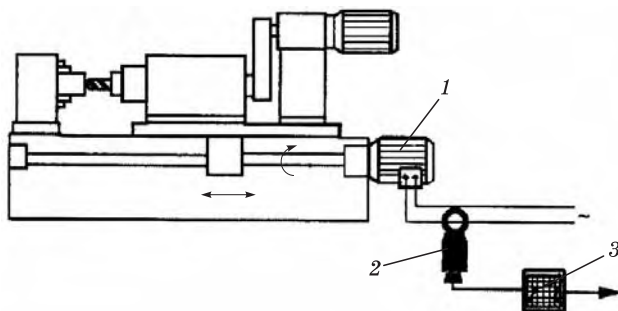


Рис. 3.10. Схема измерения мощности привода подачи:  
1 — двигатель привода подач; 2 — датчик тока; 3 — регистрация сигнала

В настоящее время измерение сил осуществляют, используя тензометрические подшипники или оправки, датчики напряжений и деформаций, а также динамометры, встроенные в инструментальную оправку, резцедержатель либо револьверную головку. Во всех случаях важную роль играет место размещения датчиков. Чем оно ближе к зоне резания, тем точнее измерения и выше надежность системы контроля.

Широкое распространение на практике получили подшипники с *тензометрическими датчиками*, наклеенными в канавке на их наружном кольце. Прохождение шарика (ролика) под датчиком вызывает локальные деформации кольца. Датчик подключен к тензометрическому мосту и генерирует сигналы переменной частоты, зависящей от частоты вращения вала и количества шариков в обойме подшипника. Амплитуда сигналов пропорциональна действию сил.

Для измерения силы подачи можно использовать тензометрический датчик, представляющий собой обойму для опорных подшипников (рис. 3.11). Тензометрические элементы, наклеенные на внутреннее кольцо обоймы, защищены от действия СОЖ, масла и т.д.

Весьма перспективно использование для контроля сил резания *пьезоэлектрических датчиков*. Принцип их действия основан на известном физическом явлении, когда на поверхности некоторых диэлектриков (например, кристаллов кварца) в результате

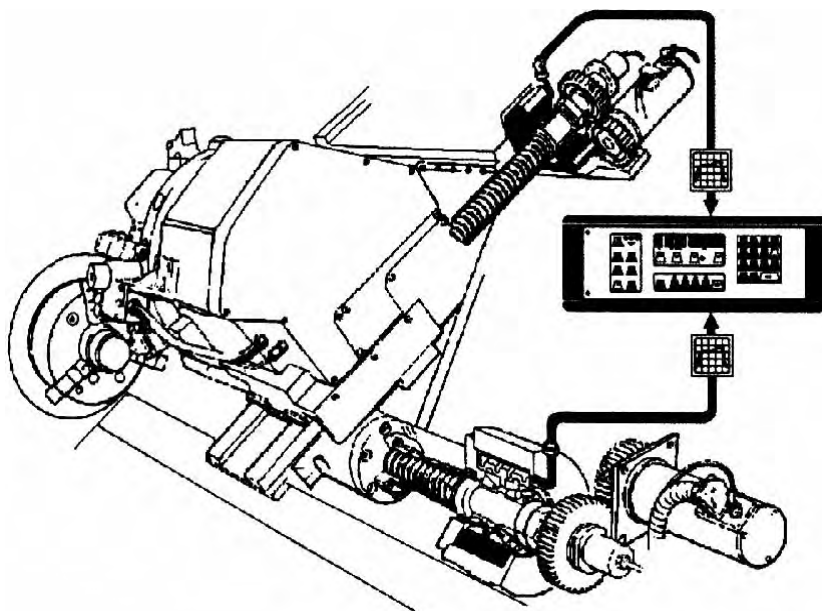


Рис. 3.11. Расположение тензометрического датчика для измерения осевой силы на ходовом винте токарного станка с ЧПУ

механической деформации генерируется электрический заряд. На рис. 3.12 показана принципиальная схема пьезоэлектрического датчика для измерения сил резания. Датчик крепится к корпусной детали, резцедержателю или другому элементу станка, в которых под действием сил резания возникают упругие деформации. Очевидно, что в месте размещения таких датчиков не должны действовать дополнительные возмущающие силы, а возникающие деформации должны непосредственно зависеть от предполагаемой к измерению силы резания. Датчик крепится к деформируемой поверхности винтом с силой  $F_0$  и измеряет силу  $F_{02}$  в месте контакта поверхности с пьезоэлектрическим элементом. Сила  $F_{01}$  приложена в базовой точке датчика. Расстояние между точками равно  $L$ .

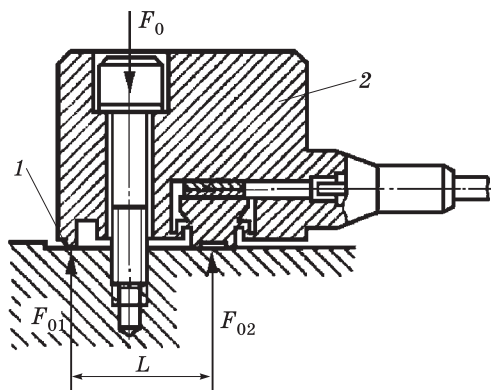


Рис. 3.12. Схема пьезоэлектрического датчика, закрепляемого на наружной поверхности изделия:

1 — базовая точка; 2 — пьезоэлектрический элемент

Пьезоэлектрические датчики типа «штифт», используемые для мониторинга сил резания и деформаций, могут устанавливаться как снаружи, так и внутри контролируемых деталей (рис. 3.13). Такие датчики имеют весьма малые габариты (диаметр 9...10 мм) и высокую чувствительность.

**Устройства, основанные на контроле уровня колебаний, возникающих при резании,** используют датчики ускорения, как правило, пьезоэлектрические. Пример конструктивного исполнения такого датчика показан на рис. 3.14.

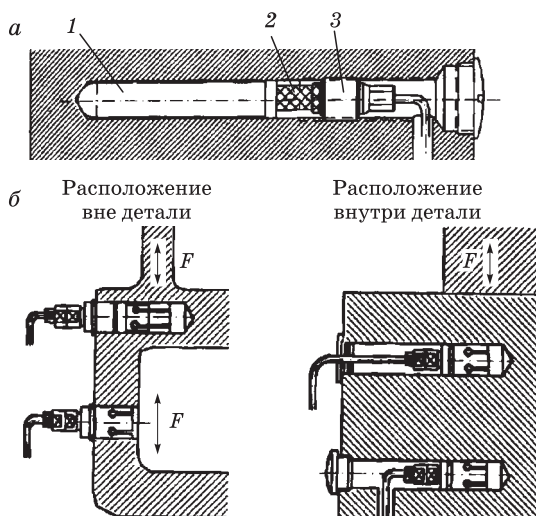


Рис. 3.13. Принципиальные схемы пьезоэлектрического датчика типа «штифт» (а) и его установки (б):

1 — измерительный наконечник; 2 — пьезоэлектрический преобразователь; 3 — устройство для закрепления

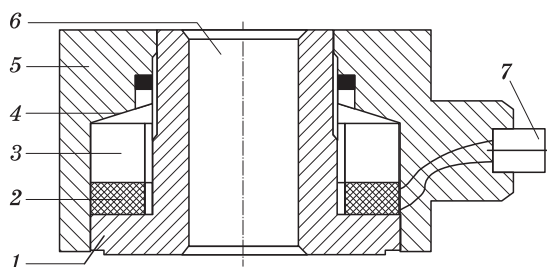


Рис. 3.14. Схема пьезоэлектрического датчика для контроля колебаний:

1 — корпус; 2 — кольцо из пьезокерамики; 3 — гравитационная масса; 4 — плоская пружина; 5 — пластиковая защитная оболочка; 6 — отверстие для крепления; 7 — кабель

**Устройства, основанные на контроле формы стружки,** дают возможность регистрировать изменения формы стружки по мере износа инструмента. Такой контроль можно обеспечить, фиксируя инфракрасное излучение из зоны обработки. Его интенсивность будет зависеть от количества находящейся

там разогретой стружки. Аналогичным образом действуют и камеры тепловизоров. Изображение с камеры (рис. 3.15) делится компьютером на участки с одинаковой интенсивностью теплового излучения, что позволяет определить характер образующейся в данный момент стружки.

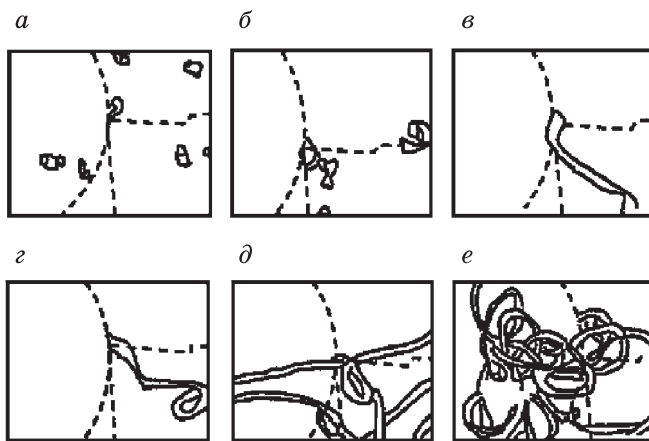


Рис. 3.15. Изображение стружки на экране тепловизора:  
*а* — оптимальная форма; *б* — приемлемая форма; *в* — допустимая форма; *г* — форма, трудная для контроля; *д* — критическая форма;  
*е* — неприемлемая форма

### 3.4. Автоматизация контроля точности обработки, сортировки деталей и размерной подналадки станков

Автоматический контроль размеров может осуществляться до обработки, в процессе обработки и после обработки деталей. Контрольные устройства выполняют различные функции: управляют работой станка, сортируют готовые детали на группы по размерам и т.д.



Контроль деталей в рабочей зоне ГПМ перед процессом обработки или после его завершения позволяет уточнить наиболее важные размеры детали, выполнить в случае необходимости коррекцию управляющей программы, выявить бракованные детали и исключить их из дальнейшей обработки, отрегулировать или заменить изношенный режущий инструмент.

В большинстве контрольных систем ГПМ используются измерительные зонды, действие которых основано на применении контактных датчиков касания либо лазерного излучения (рис. 3.16). С помощью зондов осуществляется идентификация деталей, правильность их расположения на столе станка (с целью компенсации ошибок закрепления заготовки на палете и палеты на столе), коррекция ошибок положения стола при обработке соосных отверстий в противоположных стенках корпуса, измерение наиболее ответственных размеров и др. При взаимодействии с измеряемой поверхностью в зонде генерируется электрический сигнал, который считывается аналого-цифровым преобразователем и преобразуется в координаты измеряемой точки.

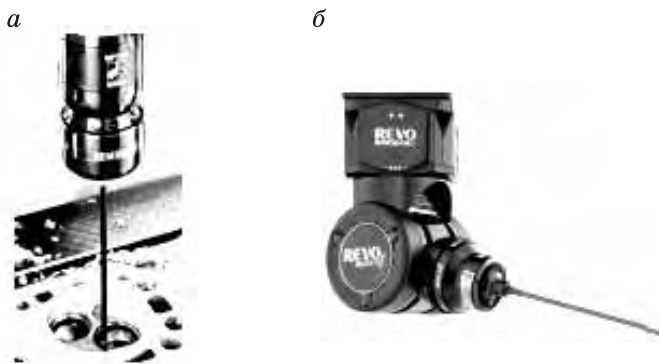


Рис. 3.16. Контактный (а) и бесконтактный (б) измерительные зонды для контроля точности обработки

### 3.4.1. Датчики, используемые в измерительных системах

Наиболее широкое применение в измерительных системах получили электрические датчики. Самыми простыми среди них являются *электроконтактные датчики*, осуществляющие контроль предельных размеров изделия. При помощи устройств с электроконтактными датчиками может осуществляться контроль при обработке деталей, их сортировка на группы в зависимости от действительного размера, контроль погрешностей формы и т.д. В зависимости от назначения электроконтактные датчики выпускаются однопредельными, двухпредельными и многопредельными.

Контактные измерители можно разбить на две группы: с перемещением контактов, равным перемещению измерительного штока, и с перемещением контактов, увеличенным по сравнению с перемещением измерительного штока — рычажные.

В *рычажных измерительных головках* благодаря механизмам, увеличивающим перемещение контактов, погрешности, зависящие от состояния контактов и их настройки, уменьшаются пропорционально передаточному отношению. Следовательно, точность контроля рычажными измерителями при прочих разных условиях выше, чем безрычажными.

В безрычажных конструкциях датчиков (рис. 3.17, а) перемещение контактов равно перемещению измерительного штока. В системах с короткоплечим рычагом (рис. 3.17, б) шток 1, перемещающийся в направляющих 3 и опирающийся на изделие, несет хомут 2, к которому пружина 5 прижимает короткий конец неравноплечего рычага 6. На длинных концах рычага укреплены контакты, замыкающиеся с контактными винтами 4 и 7. При контроле изделий с завышенным размером хомут 5 отходит от рычага 6, что препятствует правильному функционированию датчика.

На рис. 3.17, в приведена схема измерительной головки с рычажной системой для передаточных отношений больше 10:1. Верхний конец измерительного штока 1 действует на траверсу 7, упирающуюся в неподвижную призму 6. Траверса скреплена с рычагом 5, на конце которого укреплены контакты 3. Регулируемые контакты 2 и 4 укреплены в корпусе головки. Передаточное

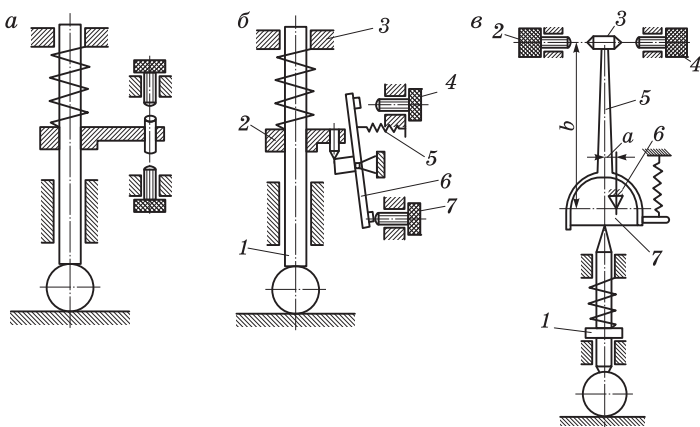


Рис. 3.17. Схемы электроконтактных датчиков:

*а* — безрычажного; *б* — с короткоплечим рычагом; *в* — с рычажной системой для передаточных отношений больше 10:1

отношение такой системы определяется отношением длины плеча *b* рычага к длине плеча *a* траверсы и может достигать 20...30.

Датчики могут быть быстро настроены по образцовой детали, величина контролируемого размера которой должна быть аттестована, или по индикатору.

Принципиальная схема измерительной системы с использованием электроконтактного датчика изображена на рис. 3.18. Стальная пружина 1, закрепленная в виде консольной балки, притягивается электромагнитом 2. Величина прогиба пружины зависит от притягивающей силы электромагнита, которая в свою очередь зависит от величины тока, протекающего через его обмотку. На свободном конце пружины укреплен контакт 3. На измерительном стержне 6, упирающемся в измеряемое изделие 7, помещен второй контакт 4. Замыкание контактов регистрируется любым способом, например лампочкой 5. Ток, протекающий через обмотку электромагнита, регулируется элементом 8 и контролируется прибором 9. Источник питания на схеме условно обозначен батареями 10.

Размер контролируемого изделия определяет положение контакта 4, а ток, протекающий через обмотку магнита, определяет прогиб пружины 1, т.е. положение контакта 3. При определенном

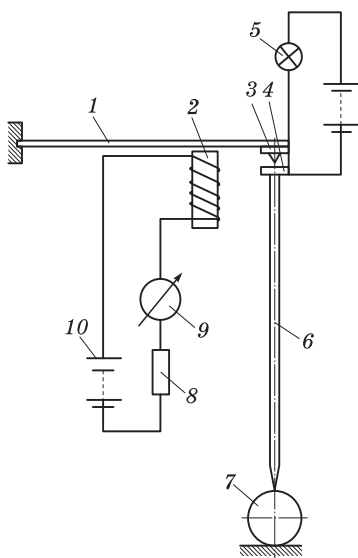


Рис. 3.18. Схема сортировочного датчика с электромагнитным управлением

токе, протекающем через обмотку, контакты замкнутся. Таким образом, размер изделия и величина тока, протекающего через обмотку магнита, взаимосвязаны. Это позволяет сортировать изделия на большое число групп с высокой точностью.

Электроконтактные датчики являются наиболее простыми и поэтому чаще других используются для контроля предельных размеров изделия. Однако большинство схем с электроконтактными датчиками не дают возможности определить действительный размер изделия. Индуктивные, емкостные, пневматические и ряд других типов датчиков этого недостатка не имеют.

Принцип действия **индуктивных датчиков** состоит в преобразовании линейного перемещения в изменение индуктивности катушки датчика. Контактные индуктивные датчики, используемые для измерения линейных размеров, выполняются простыми или дифференциальными.

В простых индуктивных датчиках (рис. 3.19, а) используется одна индуктивная катушка. При увеличении размера контролируемой детали 1 измерительный шток 2 датчика, преодолевая усилие пружины 5, будет оказывать давление на якорь 3,

который подвешен на плоской пружине 4 и может поворачиваться. Поворот якоря вызовет изменение воздушного зазора между магнитопроводом 6 катушки и якорем, что приведет к изменению индуктивности катушки.

В дифференциальном индуктивном датчике (рис. 3.19, б) применяются две индуктивные катушки 1 и 2. Если при перемещении якоря индуктивного датчика зазор между якорем и первой катушкой уменьшается, то зазор между якорем и второй катушкой увеличивается на эту же величину. В силу этого изменяются индуктивности обеих катушек, что позволяет в два раза увеличить чувствительность измерительной схемы.

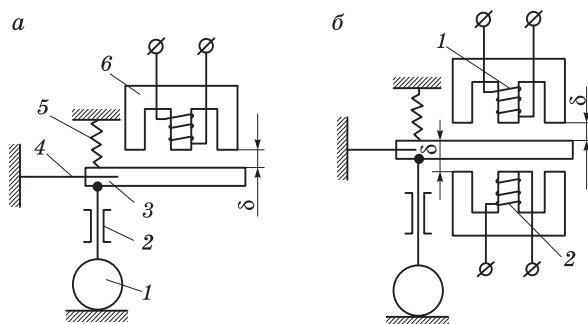


Рис. 3.19. Схемы индуктивных датчиков:  
а — простого; б — дифференциального

**Фотоэлектрические датчики размера** осуществляют преобразование изменения размера изделия в изменение лучистой энергии или направления светового потока, а затем в электрический сигнал с помощью фотоэлемента.

Оптические системы фотоэлектрических датчиков размера основаны на свойстве изделия отражать световой поток или дифрагмировать его. Оптические схемы с *отражением светового потока* строятся на отражении светового луча непосредственно контролируемым изделием или специальным отражательным зеркалом. Такая схема может использоваться, например, для контроля шероховатости поверхности деталей. Световой поток падает на поверхность детали и, отражаясь от нее, направляется на фотоэлемент. Отраженный световой поток преобразуется фотоэлементом в пропорциональный ему ток.

Оптические схемы с *диафрагмированием светового потока* строятся на принципе преграждения пути светового луча контуром контролируемого изделия. Такие схемы можно использовать для контроля как наружных размеров деталей, так и размеров отверстий.

Широкое распространение в производстве получили фотоэлектрические измерительные системы с диафрагмированием светового потока (рис. 3.20, а). В таком устройстве световой поток от источника 1 через оптическую систему 2 и щелевую диафрагму 3 падает на фотоэлемент 4. Щелевая диафрагма частично закрыта заслонкой 9, которая установлена на рычаге 8. С другим концом рычага связан измерительный стержень 6. Измерительный наконечник устанавливается на контролируемую деталь 7. Положение заслонки, степень перекрытия ею щелевой диафрагмы и, следовательно, величина потока излучения, падающего на фотоэлемент, определяются размером детали, о котором можно судить по току, измеряемому микроамперметром 5.

Устройства данного типа построены на регистрации изменения интенсивности светового потока и не обеспечивают высокой точности измерений. Ее можно достичь в системах, которые фиксируют лишь наличие или отсутствие потока излучения. В таких устройствах находится обычно несколько фотореле, фотоэлементы которых освещаются или затемняются при определенном положении указателя измерительного устройства. Схема одного из таких устройств показана на рис. 3.20, б. При установке

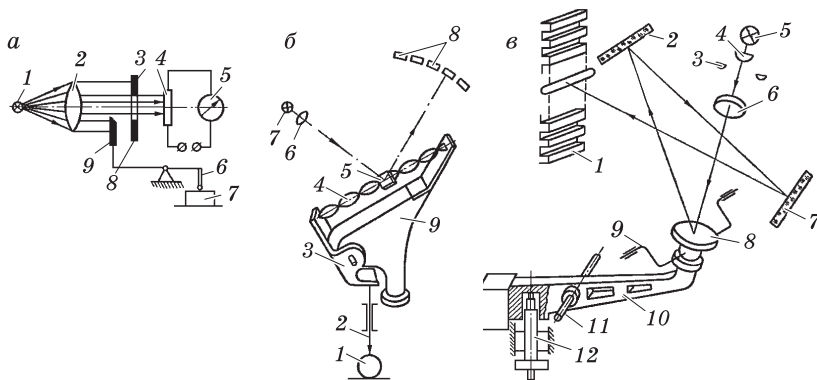


Рис. 3.20. Схемы работы фотоэлектрических датчиков

измерительного наконечника 2 на измеряемую деталь 1 рычаг 3 растягивает пружинную ленту 4, закрепленную на держателе 9, и поворачивает зеркало 5. Свет от источника 7, проходя через линзу 6, отражается зеркалом и падает на один из фотоэлементов 8, заставляя сработать реле, в цепь которого включен этот фотоэлемент. Номер включаемого реле зависит от угла поворота зеркала, т.е. от величины контролируемой детали.

Несколько измененная схема такого же типа приведена на рис. 3.20, в. Свет от лампы 5 через конденсор 4, диафрагму 3 и объектив 6 падает на поворотное зеркало 8 и, отразившись от него, а затем от неподвижных зеркал 2 и 7, попадает на блок полупроводниковых фотосопротивлений 1. Зеркало 8 закреплено на рычаге держателя 9, который опирается на длинное плечо рычага 10. Рычаг вращается относительно оси 11 и через шарик опирается на измерительный стержень 12. Когда выполняется измерение, стержень 12 через рычаг 10 воздействует на зеркало 8, и в зависимости от величины определяемого размера луч света попадает на то или иное фотосопротивление, резко уменьшая при этом его омическое сопротивление. Ток, протекающий через фотосопротивление, возрастает и достигает значения, обеспечивающего срабатывание реле, включенного последовательно с сопротивлением. Порог чувствительности и погрешность датчика составляют 0,5 мкм. Всего в датчике 59 фотосопротивлений, что позволяет производить сортировку деталей на 59 групп через 1 мкм.

Оптическая схема фотоэлектрических датчиков имеет три основные разновидности: работа на просвет, на обратное отражение и на рассеянное отражение. При работе *на просвет* приемник и излучатель расположены напротив друг друга таким образом, что световой поток из излучателя попадает непосредственно в приемник. Положение объекта определяется, когда он перекрывает луч от излучателя в приемник. Настройка взаимного расположения датчиков заключается в том, чтобы максимизировать количество света, попадающего из излучателя в приемник. Это возможно, если расположить приемник и излучатель точно друг против друга.

Фотоэлектрические датчики, реагирующие на *обратное отражение*, содержат излучатель и приемник в одном корпусе. Световой луч распространяется от излучателя до обратного

отражателя, а затем попадает в приемник. Так же как и в фотоэлектрических датчиках, работающих на просвет, объект обнаруживается, когда он пересекает световой луч. Отраженный луч обычно не сфокусированный и поэтому датчики, использующие обратное отражение, применяют для обнаружения достаточно больших объектов. Когда требуется малый эффективный размер луча, то, так же как и в датчиках, работающих на просвет, в качестве источников света используются лазерные диоды.

Большинство обратных отражателей сделано из множества маленьких призм, каждая из которых имеет три взаимно перпендикулярные отражающие поверхности. Когда световой луч падает на призму, три отражающие поверхности отражают луч в обратном направлении параллельно падающему лучу.

Зеркальные поверхности также могут использоваться в качестве отражателей для датчиков. Однако луч от зеркальной поверхности отражается под тем же углом, что и падающий луч, но в направлении, противоположном относительно нормали к поверхности зеркала. Для того чтобы луч попал обратно на датчик, необходимо, чтобы зеркало было расположено строго перпендикулярно лучу. С другой стороны, обратный отражатель посылает луч обратно в датчик, даже если расположен под углом примерно  $20^\circ$  от перпендикуляра. Это свойство делает настройку таких отражателей быстрой и легкой.

При анализе блестящих поверхностей лучшее решение обеспечивают датчики с поляризованным обратным отражением. Эти датчики содержат расположенные перед источником света и приемником поляризационные фильтры, фазы которых взаимно перпендикулярны (рис. 3.21, *а*). Такой датчик не может обнаруживать свет, отраженный большинством поверхностей, поскольку поляризованный отраженный свет не может пройти через поляризационный фильтр, помещенный перед приемником. Блестящие поверхности деполаризуют отраженный свет (рис. 3.21, *б*). Некоторая доля отраженного деполаризованного света может пройти через поляризационный фильтр перед приемником и обнаруживается датчиком. В итоге датчик может «видеть» отражение от отражателя и не может «видеть» отражение от остальных объектов.

Фотоэлектрические датчики, реагирующие на *рассеянное отражение*, обнаруживают расположенный перед датчиком объект по отраженному от объекта излучению самого датчика.



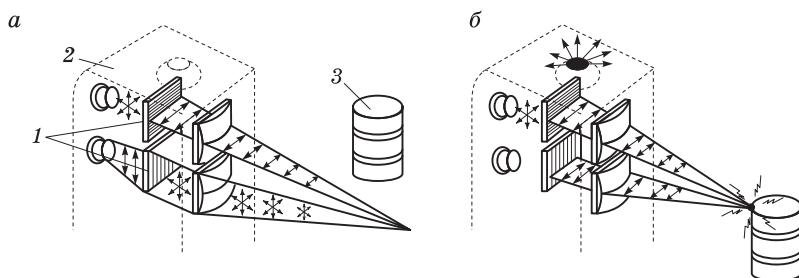


Рис. 3.21. Схемы использования датчиков с поляризованным светом: 1 — поляризационные фильтры; 2 — фотоэлектрический детектор; 3 — блестящая поверхность

Свет от излучателя падает на поверхность и отражается под самыми разными углами, так что некоторая доля отраженного от поверхности объекта излучения попадет в приемник датчика. Схема работы с рассеянным отражением не столь эффективна, как с обратным, поскольку только малая часть света от излучателя попадает в приемник. К тому же подобные датчики подвержены ложным срабатываниям от блестящих поверхностей.

Важнейшими функциональными особенностями фотоэлектрических датчиков являются бесконтактный принцип их работы и цифровой выход, что используется для создания бесконтактных фотоэлектрических переключателей, решающих на технологической линии многие задачи с предоставлением выходной информации в цифровой форме: подсчет, обнаружение, позиционирование объектов и т.д. Выходной управляющий сигнал датчика представляет собой логическое «да» или «нет».

Фотодатчики могут излучать свет в инфракрасном, красном или зеленом диапазоне спектра. Задача датчика — обнаружить объект на расстоянии, варьируемом в пределах рабочего диапазона в зависимости от выбранного типа датчика и типа оптической системы. Различают транзисторные, тиристорные или релейные датчики.

**Механотрон** — электровакуумный прибор, в котором управление электронным или ионным током производится непосредственно механическим перемещением его электродов. Механотроны предназначены для преобразования механических величин (перемещений, усилий, ускорений, вибраций и т.д.) в электрические сигналы и используются в качестве датчиков в различных

измерительных устройствах. Механотрон преобразует линейное перемещение (изменение размера) непосредственно в изменение анодного тока и одновременно усиливает этот ток.

Управление электронным током основано на перемещении анода в направлении электрического поля лампы. Это перемещение сопровождается изменением напряженности электрического поля внутри прибора прямо пропорционально величине смещения подвижного электрода. Принципиальная схема электронного датчика размера с продольным управлением электронным током показана на рис. 3.22. Неподвижный накаленный катод 4 и подвижный анод 3, укрепленный на рычаге 1, проходящем через эластичную стенку 2 колбы датчика, сделаны плоскими. При изменении расстояния между электродами анодный ток изменяется.

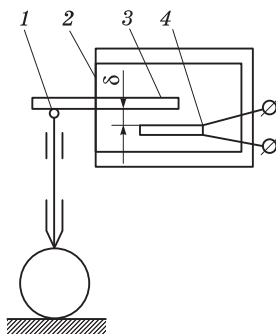


Рис. 3.22. Схема механотрона

В качестве чувствительных элементов в *пневматических приборах* низкого давления используются водяной манометр и мембрана, в приборах высокого давления — мембрана, сильфон, манометр.

*Мембранный датчик* (рис. 3.23, а) преобразовывает изменение давления воздуха, поступающего по трубке 2 в камеру 1 и выходящего через измерительное сопло 8 к контролируемому изделию 9, в перемещение мембраны 3.

Мембрана 3 зажата между верхней 4 и нижней 1 частями корпуса датчика. На мембрану опирается стержень с шайбой 5, отжимаемый вниз пружиной 6. Стержень несет на себе контактную планку 7 и воздействует на шток электроконтактного датчика.

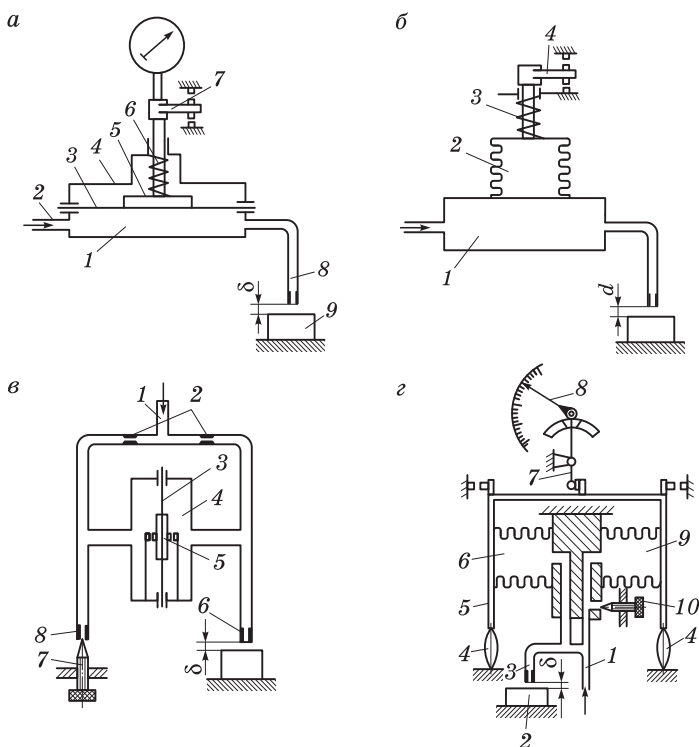


Рис. 3.23. Схемы пневматических приборов с датчиками непосредственного (а, б) и дифференциального (в, г) действия

Давление в измерительной камере меняется в зависимости от изменения величины зазора  $\delta$  между наружным торцом сопла и поверхностью контролируемой детали.

Изменение давления в измерительной камере 1 *сильфонного датчика* (рис. 3.23, б) может преобразовываться в перемещение торцевой части сильфона 2 и укрепленного на нем стержня 3 с контактной планкой 4.

В пневматических измерительных системах дифференциального типа чувствительный элемент реагирует на разность давлений в двух ветвях системы. Применение в качестве чувствительного элемента мембраны при дифференциальном методе измерения может быть проиллюстрировано схемой *автоматической измерительной головки*, показанной на рис. 3.23, в.

Воздух поступает в головку по трубопроводу 1, разделяется по двум направлениям и через входные сопла 2 поступает к измерительному соплу 6 и соплу противодавления 8. Измерительный воздухопровод и канал противодавления соединены с коробкой 4, разделенной мембраной 3 на две камеры. Как только мембрана вследствие разности в давлениях в измерительном и сравнительном трубопроводах будет выведена из положения покоя и прогнется на небольшую величину, один из контактов 5 замкнется, и приведет в действие соответствующее реле.

С помощью регулировочного винта 7 можно изменять площадь свободного сечения сопла противодавления и устанавливать такое давление в канале противодавления, которое отвечает желаемому зазору перед измерительным соплом.

В *дифференциальной измерительной системе с сильфонами* (рис. 3.23, *г*) сжатый воздух поступает по трубке 1 и уходит налево к измерительному соплу 3 и в сильфон 6 измерительной ветви прибора. С правой стороны сжатый воздух направляется в сильфон противодавления 9; величина противодавления регулируется винтом 10. Сильфоны 6 и 9 заключены в рамку 5, которая может перемещаться вправо или влево, поворачиваясь на пружинных опорах 4. Величина перемещения определяется зазором  $\delta$  между измерительным соплом 3 и контролируемым изделием 2. При перемещении рамки 5 поворачивается рычаг 7, который приводит во вращение стрелку 8. Положение стрелки 8 относительно циферблата определяет размер контролируемого изделия.

В промышленности вместо сложных пневматических систем применяются *пневмоэлектрические датчики*, которые в зависимости от конструкции чувствительного элемента разделяются на мембранные и сильфонные.

Схема *пневмоэлектрического мембранного датчика* показана на рис. 3.24, *а*. Чувствительным элементом датчика является эластичная резиновая мембрана 1, разделяющая корпус 2 датчика на две части, в каждой из которых имеются конические камеры. На мембране закреплен грибок 3 с контактом 4, расположенным против неподвижного контакта на винте 5. В обеих крышках датчика установлены входные сопла 7. При измерении по схеме с противодавлением на корпусе датчика

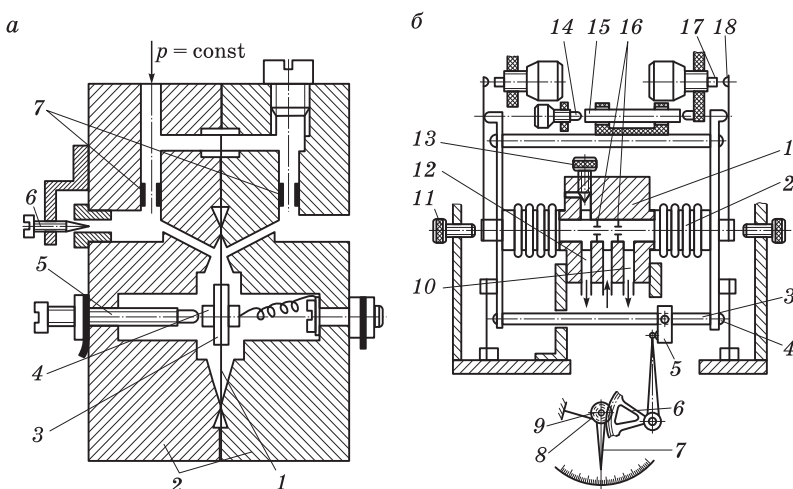


Рис. 3.24. Схемы пневмоэлектрических датчиков:  
а — мембранного; б — сильфонного

устанавливается узел регулировки противодействия, представляющий собой клапан с коническим клапаном 6, облегчающим точную регулировку давления при настройке датчика.

Датчик с помощью образцовой детали может быть настроен на подачу сигналов «брак +» или «брак -». В первом случае контакт датчика будет замыкаться при измерении деталей с размерами, равными или большими, чем у образцовой детали. Во втором случае контакт датчика размыкается, если размер детали равен или меньше размера образцовой детали. Размыкание и замыкание контакта датчика происходит практически при нулевом перепаде давления на мембране.

На рис. 3.24,б представлена схема пневмоэлектрического дифференциального сильфонного датчика. К корпусу распределителя 1 прикреплены чувствительные элементы — сильфоны 2, свободные концы которых жестко связаны стяжками 3. Последние с помощью планок 4 закреплены на пружинном параллелограмме. Ход сильфонов ограничен регулируемыми упорами 11. На планках посредством плоских пружин укреплены подвижные контакты 18, против которых расположены настроенные контакты 17. На нижней стяжке установлен хомут 5,

соприкасающийся со сферическим наконечником рычажно-зубчатого отсчетного механизма, состоящего из зубчатого сектора 6 и триба 9, на котором укреплены волосок 8 и стрелка 7. Входные сопла 16 установлены в корпусе распределителя. В случае контроля предельных размеров датчик работает с противодавлением, для этого на корпусе распределителя устанавливается узел противодавления 13, а канал 12 глушится. В случае дифференциальных измерений при контроле отклонений формы и взаимного положения поверхностей узел противодавления перекрывается, а к каналам 12 и 10 подводятся трубки от измерительных сопел.

На верхней стяжке в призме помещается «плавающий» контакт 15, против торцов которого расположены с одной стороны неподвижный контакт, а с другой — настроечный контакт 14. Плавающий контакт прижимается к призме пружиной. Он предназначен для контроля правильности геометрической формы и взаимного расположения поверхностей.

Измерительные устройства на базе лазерного излучения — **лазерные интерферометры** — в настоящее время широко используются в системах автоматического контроля. В основе измерений лежит явление интерференции световых волн.

Лазерные интерферометры имеют ряд достоинств. Высокая чувствительность к положению объекта относительно пучка света обеспечивает высокое продольное пространственное разрешение (до единиц микрометров). Фокусировка лазерного пучка в пятно малых размеров обеспечивает высокое поперечное пространственное разрешение (единицы микрометров). Монохроматическое излучение лазерного источника света позволяет сравнивать измеряемые геометрические параметры объектов непосредственно с длиной волны используемого лазера как мерой длины, что обеспечивает высокие метрологические свойства.

Кроме того, лазерные интерферометры характеризуются отсутствием износа (метод измерения является бесконтактным), быстродействием, выходом на цифровое отсчетное устройство и на печать, возможностью автоматического ввода поправок на изменение внешних условий измерения.

Без каких-либо особых изменений лазерный интерферометр может быть использован для бесконтактного и неразрушающего контроля:

- макроформы и шероховатости поверхности различных объектов;

- вибраций объектов, имеющих сложную форму и негладкие (шероховатые) поверхности;
- параметров слоистых, оптически прозрачных, в том числе рассеивающих, объектов промышленного и биологического происхождения.

На рис. 3.25 показана схема устройства для непрерывного контроля наружного диаметра детали. Из лазера 2 луч падает на полупрозрачное зеркало 3. Отраженная составляющая луча попадает на зеркало 1, отражается от него и, проходя вновь через зеркало 3 и диафрагму 4, приходит к фотоумножителю 5. Луч лазера, кроме того, проходит через зеркало 3, отражается от обрабатываемой поверхности 6, возвращается к зеркалу и, отражаясь от него, проходит через диафрагму 4 на фотоумножитель 5. Таким образом, как и в обычном интерферометре, на фотоумножитель попадают два луча: один — отраженный от неподвижного зеркала 1, а второй — от обрабатываемой поверхности, которая играет роль передвигжного зеркала. Точность измерений при использовании лазерных интерферометров достигает  $\pm 0,01$  мкм.

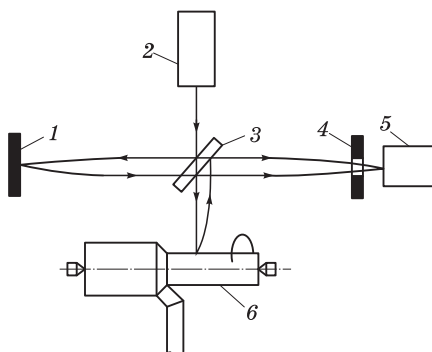


Рис. 3.25. Схема непрерывного контроля диаметра детали с использованием лазерного интерферометра

Схема функционирования сканирующего лазерного интерферометра, используемого для прецизионных измерений различных объектов, приведена на рис. 3.26.

Одним из новых направлений в автоматизации контроля является использование *телевизионно-вычислительной техники*.

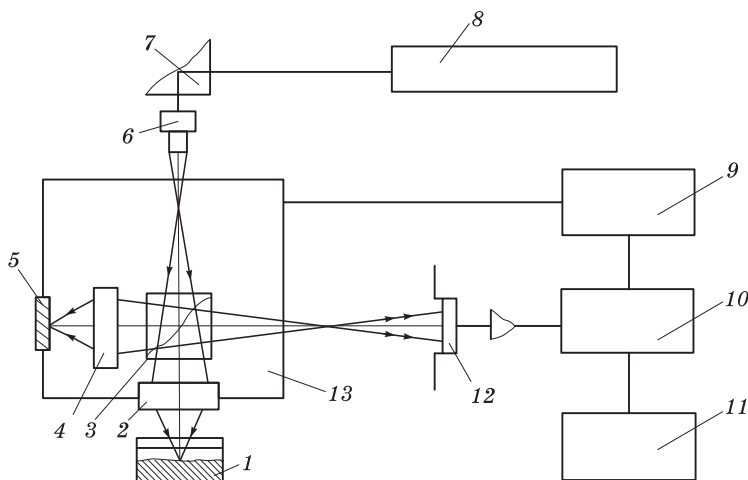


Рис. 3.26. Схема сканирующего лазерного интерферометра:

1 — объект; 2, 4, 6 — микрообъективы; 3 — делительный кубик; 5 — опорное зеркало; 7 — поворотная призма; 8 — лазер; 9 — генератор колебаний сканирующей платформы; 10 — аналого-цифровой преобразователь выходного сигнала с синхронизацией от генератора колебаний; 11 — компьютер; 12 — широкоапертурный фотоприемник; 13 — сканирующая платформа

Главным органом телевизионно-вычислительной системы является фотоэлектрический сканирующий элемент (телевизионная трубка).

Блок-схема телевизионного устройства для автоматического контроля детали в ходе обработки приведена на рис. 3.27. Изображение контролируемой детали 1 проецируется с помощью оптической системы 2 на фоточувствительный слой телевизионной трубки 3. Отклоняющее устройство 4 управляет перемещением развертывающего электронного луча по определенной программе. Луч пересекает тень детали в заданных сечениях  $AB$ ,  $CD$ ,  $EF$ ,  $GH$ . При входе луча в тень (точки  $A$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $G$ ) на выходе трубки вырабатывается импульс, поступающий через усилитель 5 в логический блок 8, открывающий канал для прохода импульсов генератора 7 в один из счетчиков 9. Количество счетчиков соответствует количеству контролируемых параметров детали 1. Второй импульс на выходе трубки вырабатывается при выходе сканирующего луча из тени (точки  $B$ ,  $D$ ,  $F$ ,  $H$ ). Под действием этого импульса логический блок 8 запирает канал прохода



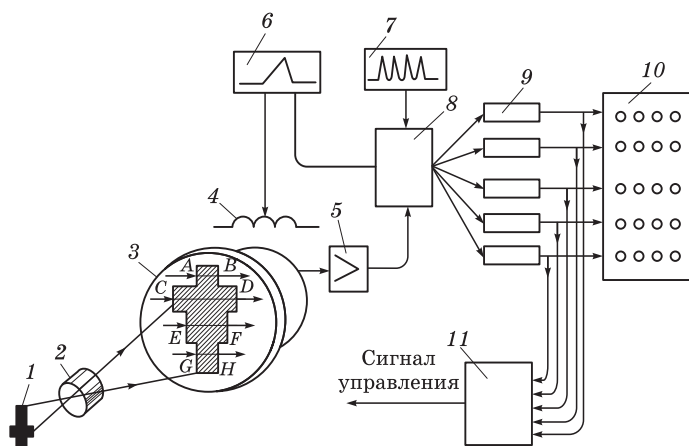


Рис. 3.27. Блок-схема телевизионно-вычислительного устройства контроля размеров

импульсов в соответствующий счетчик. Таким образом, в счетчиках 9 набирается количество импульсов, пропорциональное размерам детали в соответствующих сечениях. Информация о набранных числах импульсов передается в логический блок 11, который сравнивает их с заданными размерами детали. При приближении размера к подналадочной границе блок 11 выдает команду на подналадку станка, а при выходе размера за пределы поля допуска — на останов станка и удаление детали. Результаты контроля выдаются на сигнальное табло 10. Блок развертки 6 осуществляет синхронизацию хода электронного сканирующего луча трубки 3 и логического блока 8.

### 3.4.2. Устройства пассивного контроля

Автоматические контрольные устройства делятся на устройства пассивного и активного контроля.

К устройствам пассивного контроля относятся в частности *контрольно-сортировочные устройства*, которые фиксируют размер деталей и на этой основе сортируют готовую продукцию на годную и бракованную, а также годные детали на ряд размерных групп (рис. 3.28). Контролируемая деталь 1 подводится под измерительное устройство 2, которое посылает сигнал о размере

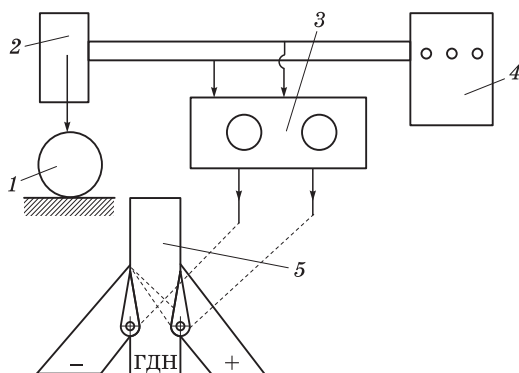


Рис. 3.28. Схема пассивного контрольно-сортировочного устройства

контролируемой детали в преобразователь измерительных импульсов 3, а иногда в контрольное устройство 4. Из преобразователя 3 поступают команды на заслонки сортировочного устройства 5, которые посылают проконтролированную деталь в тару для годной (ГДН) или бракованной продукции.

Сортировка может осуществляться по следующим принципам:

1) сортировка на годные и бракованные, т.е. на две-три группы. Конструкция контрольных автоматов в этом случае сравнительно проста;

2) сортировка по рабочему зазору для селекционной сборки. Она основана на том, что оптимальный зазор между сопрягаемыми деталями значительно меньше, чем допуск на их изготовление, поэтому детали приходится распределять на группы таким образом, чтобы каждая пара обеспечивала оптимальный рабочий зазор. Этой сортировке подвергаются все детали;

3) автоматический подбор деталей по рабочему зазору при сборке точных соединений. В тех случаях, когда допустимый зазор между сопрягаемыми деталями значительно меньше, чем допуск на их изготовление, на специальных контрольных устройствах производится подбор пар деталей с соответствующими размерами.

На рис. 3.29,а показана схема устройства с веерообразным сортирующим желобом, поворачивающимся вокруг горизонтальной оси 2. Поворот желоба 3 осуществляется с помощью серии электромагнитов  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ , которые, срабатывая, поворачивают

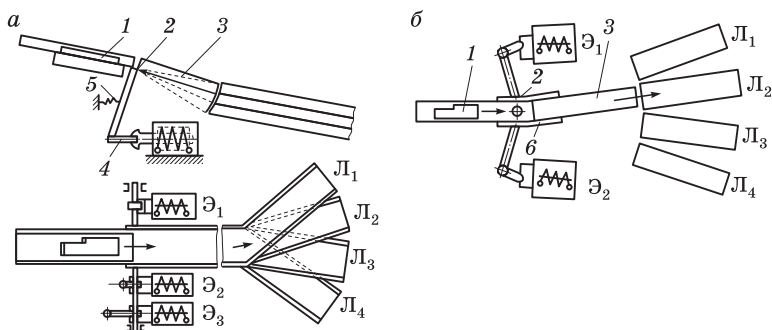


Рис. 3.29. Контрольно-сортировочные устройства

желоб на определенный угол и устанавливают его против одного из направляющих лотков  $Л_1$ ,  $Л_2$ ,  $Л_3$  или  $Л_4$ , отводящих деталь 1 к соответствующим приемникам. Якорь каждого электромагнита связан с валиком сортирующего желоба 3 посредством соответствующей кривошипной тяги 4, кривошип оттягивается в исходное положение пружиной 5.

Применяются также сортировочные механизмы с желобом, поворачивающимся вокруг вертикальной или наклонной оси, как это схематически изображено на рис. 3.29, б. За исходное положение поворотного желоба 3 для предыдущей схемы принимается среднее положение. При этом максимальный угол поворота желоба уменьшается по сравнению с ситуацией, когда за исходное положение принимается одно из крайних положений. Так как в исходном положении все электромагниты обесточены, поворотный желоб удерживается двухсторонней пружиной 6.

Преимущество данной схемы сортировки по сравнению с предыдущей заключается в возможности осуществления сортировки на большее число групп. Если допустимый угол поворота желоба 3 для предыдущей схемы практически лежит в пределах  $45^\circ$ , то здесь этот угол может достигать до  $90^\circ$  и выше.

На рис. 3.30 показано, как может быть осуществлена механическая связь между сортирующим желобом 3 и электрическим ползуном 2 следящей системы промежуточного преобразователя импульсов. Оба этих элемента посажены на общий вертикальный валик, приводимый в движение следящим сервомотором 1. Таким образом, поворотный желоб 3 копирует все движения

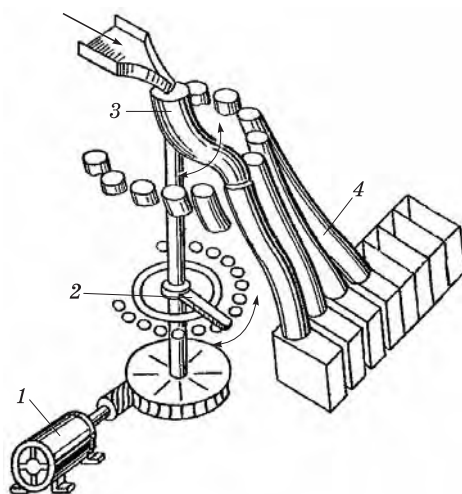


Рис. 3.30. Сортирующий механизм с сервомотором

ползуна 2, включая и колебания, сопровождающие следящий процесс. Каждому положению ползуна относительно контактов соответствует надлежащее положение сортировочного желоба против одного из направляющих лотков 4. При этом наличие небольших колебаний в некоторых случаях бывает даже полезным, поскольку они способствуют ускорению выхода контролируемой детали из сортировочного желоба в направляющий лоток.

### 3.4.3. Устройства активного контроля

При методе активного контроля, когда размер изготавливаемой детали контролируется непосредственно в процессе обработки, обеспечивается наиболее высокая точность обработки, так как исключается влияние на получаемый размер силовых и тепловых деформаций технологической системы, износа режущего инструмента и уменьшается вредное влияние вибраций.

Схема осуществления активного контроля процесса обработки приведена на рис. 3.31. На круглошлифовальном станке 4 автоматическое контрольное устройство 2 через преобразователь 3 подает исполнительным органам станка команды об изменении

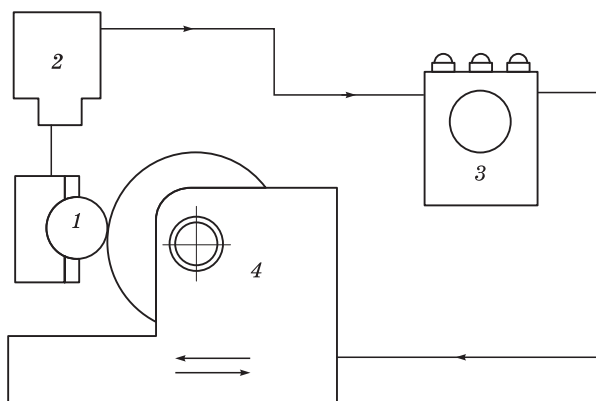


Рис. 3.31. Схема активного контрольно-сортировочного устройства

подачи шлифовального круга с черновой на чистовую и прекращения шлифования при достижении требуемого размера детали 1. Одновременно световые сигналы контрольного устройства могут показывать, что деталь намного превышает требуемый размер, близка к нему или достигла окончательного размера.

Примерно по такой же схеме может осуществляться и контроль заготовок перед обработкой. После автоматической установки и закрепления заготовки 1 к ней подводятся измерительное устройство 2 и бабка шлифовального круга 4. Скоба измеряет диаметр заготовки, действительный припуск и в зависимости от величины последнего через систему управления подготавливает включение одной из нескольких возможных черновых подач. Если заготовка слишком велика или мала, цикл прерывается, и заготовка удаляется.

Автоматические устройства для контроля изделий после обработки (рис. 3.32, а) могут выполнять следующие функции:

- выключать станок 3 или производить его подналадку при прохождении сигнала через устройство 1, подающее информацию в преобразователь измерительных импульсов 4, определенного числа деталей 2 с размерами, выходящими за установленные пределы;
- отсортировывать брак в устройстве 5 и сортировать годные детали на группы размеров;
- останавливать станок в случае поломки инструментов.

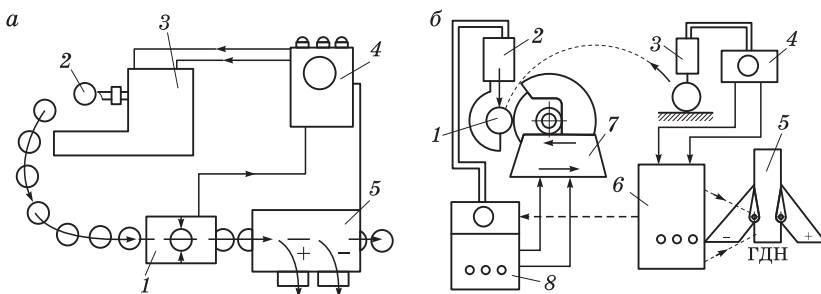


Рис. 3.32. Схемы контроля изделий после обработки

На рис. 3.32, б приведена схема одновременного использования устройств для комбинированного контроля изделий в процессе обработки и после нее. Деталь 1 и во время обработки, и после нее контролируется датчиками 2 и 3; первый во время обработки подает сигналы преобразователю измерительных импульсов 8 с сигнальным устройством, который управляет станком 7. После обработки сигналы датчика 3 поступают в преобразователь 4, управляющий сортирующим устройством 5, и одновременно в сигнальное устройство 6. В процессе обработки осуществляется контроль случайных отклонений, а после обработки — изменений, происходящих в работе станка, и при необходимости подается сигнал о его подналадке.

Средства активного контроля можно условно разделить на две группы. Устройства первой группы непрерывно измеряют обрабатываемую заготовку, и по мере достижения требуемых размеров изменяют режимы резания, прекращая обработку.

Устройства второй группы измеряют уже обработанную заготовку и по результатам измерения подают команду на изменение положения (подналадку) режущего инструмента относительно технологических баз в момент окончания обработки. Применение средств этой группы обеспечивает меньшую точность обработки по сравнению со средствами первой группы. Они устраняют влияние на точность обработки только износа режущего инструмента и сравнительно медленных температурных деформаций технологической системы.

В качестве примера использования средств активного контроля *первой группы* рассмотрим устройство для контроля размеров в процессе обработки на круглошлифовальном станке (рис. 3.33).

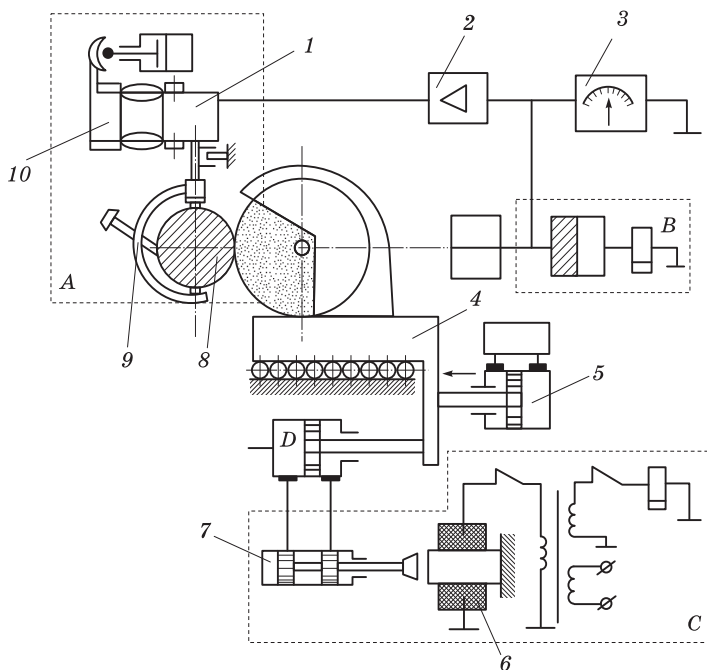


Рис. 3.33. Схема устройства активного контроля круглошлифовального станка

На измерительной позиции *A* изменяющийся размер заготовки 8 контролируется измерительной головкой 9 с преобразователем 1, расположенной на подвеске 10. Сигнал, снимаемый с преобразователя 1, усиливается в усилителе 2, поступает на показывающий прибор 3 и в триггерно-релейный блок *B*. После замыкания контактов сигнал через релейный усилитель блока *C* поступает на исполнительный электромагнит 6, перемещающий золотники гидрораспределителя 7. При смещении золотников включается гидропривод обратного хода исполнительного механизма *D*, и шлифовальная бабка 4 начинает отходить от детали. Для обеспечения рабочей подачи бабки 4 служит гидропривод прямого хода 5.

Средства активного контроля *второй группы* рассмотрим на примере устройства для автоматической поднастройки бесцентрово-шлифовального станка (рис. 3.34). Для достижения требуемой точности диаметральных размеров валиков в момент,

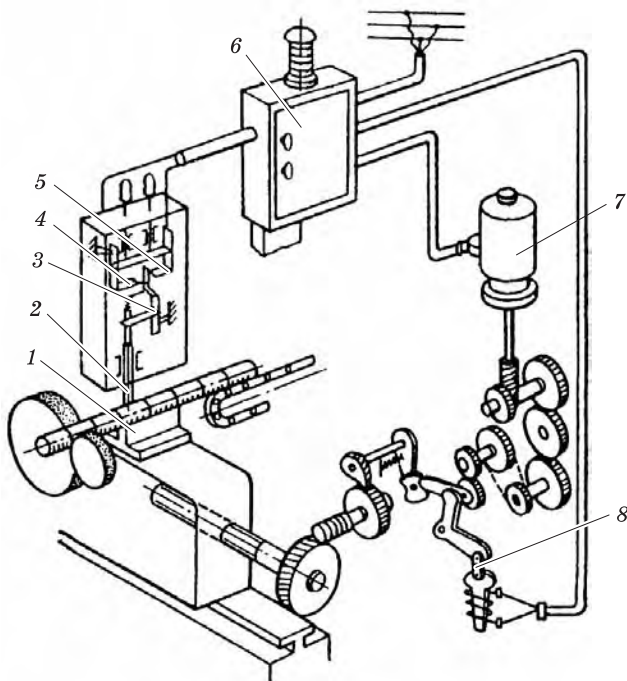


Рис. 3.34. Схема устройства активного контроля бесцентрово-шлифовального станка

когда обработанные детали попадают на призму 1, наконечник измерительного штифта 2 приходит в соприкосновение с измеряемой поверхностью валика и, перемещаясь, поворачивает рычаг 3. Если диаметр обработанного валика увеличивается и достигает контрольной границы, рычаг 3 замыкает контакт 5, включая тем самым реле времени, находящееся в шкафу 6. Реле, срабатывая, включает соленоид 7, который приводит в действие механизм, подающий ведущий шлифовальный круг в направлении рабочего круга, что вызывает уменьшение диаметров обрабатываемых валиков. Механизм приводится в действие от электродвигателя 8. В результате выполненной автоматической поднастройки диаметр валиков начинает постепенно уменьшаться, а измерительный штифт 2 начинает постепенно опускаться. При этом поворачивается рычаг 3, который сначала включает контакт 5, а затем включает контакт 4, выключая



механизм подачи, сообщающий перемещение ведущему кругу. Контрольные границы размеров валиков устанавливаются с помощью контактов 5 и 4, регулируемых винтами.

Недостаток методов подналадки по одной детали — слабая помехозащищенность системы от воздействия грубых ошибок. При подналадке по повторным импульсам измерительное устройство автоподналадчика усложняется, но при этом увеличивается помехоустойчивость подналадочной системы и уменьшается рассеивание размеров обработанных заготовок. Наибольшей помехоустойчивостью отличаются методы подналадки по статистическим оценкам, когда определяется положение центра группирования рассеивания размеров и команда подается при выходе центра группирования за настроенную границу. Такие системы требуют подключения к компьютеру для определения с его помощью среднестатистического размера в выборке.

Устройства для контроля размеров деталей бывают одно-, двух- и трехточечные. Наиболее проста *одноточечная схема измерения* (рис. 3.35, а), однако при ее использовании на результат измерения будет влиять взаимное перемещение в направлении линии измерения детали и самого устройства. Измерительное устройство, построенное по *двухточечной измерительной схеме* (рис. 3.35, б), требует большого свободного пространства, хотя погрешность измерения при этом методе меньше. При двухточечной схеме измерения взаимное положение измерительного устройства и детали в направлении линии измерения определяется только размером детали и не зависит от ее технологической базы, что уменьшает погрешность контроля, но не обеспечивает полного разделения элементов технологической и измерительной размерных цепей. Полное разделение этих цепей достигается в *трехточечной схеме измерительного устройства* (рис. 3.35, в). В этом случае взаимное положение измерительного устройства и детали как в направлении линии измерения, так и в перпендикулярном (т.е. полностью в плоскости измерения) задается только элементами измерительного устройства. Измерительная скоба 4 с помощью шарнира крепится к корпусу 3 устройства. Последний вводится внутрь отверстия и базируется по его поверхности опорными наконечниками 5. Корпус через рычаг подвески 2 крепится к станку. С корпусом соединен преобразователь 1, измеряющий перемещение рычага относительно корпуса, пропорциональное контролируемому изменению диаметра отверстия.

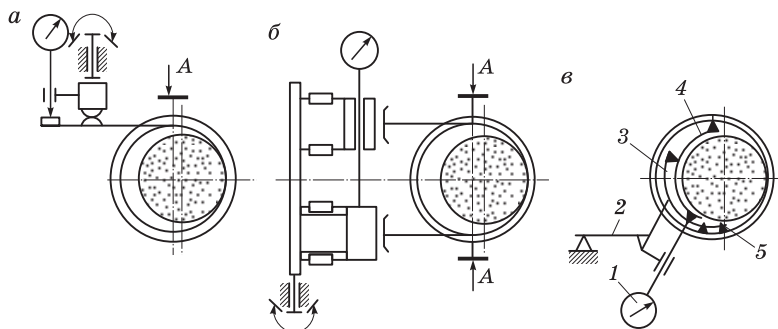


Рис. 3.35. Схемы одно- (а), двух- (б) и трехточечных (в) устройств для контроля размеров отверстий

На рис. 3.36 представлена схема измерительного устройства внутришлифовального станка, ограничивающего перемещение его исполнительных механизмов с компенсацией износа режущего инструмента.

Направляющая 4 этого устройства смонтирована на поперечных салазках, несущих бабку шлифовального круга. Шток 5, проходящий в этой направляющей, может перемещаться во время работы лишь вместе с салазками в направлении, перпендикулярном к оси шпинделя шлифовального круга. Шток связан со стрелкой 7 показывающего устройства, настроенного так, что стрелка устанавливается на нуль по достижении требуемого размера детали. В начале шлифования круг устанавливается

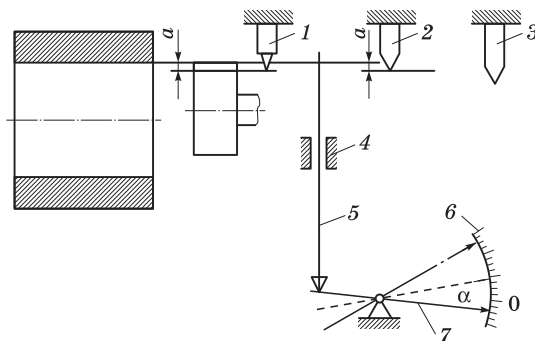


Рис. 3.36. Схема устройства активного контроля внутришлифовального станка с компенсацией износа шлифовального круга

в положение, соответствующее назначенному припуску на обработку. При этом стрелка находится в положении, которое изображено штрихпунктирной линией. Во время работы круг вместе с салазками перемещается по направлению подачи, что вызывает перемещение стрелки 7 по часовой стрелке.

Во время чернового шлифования круг изнашивается, поэтому в момент достижения стрелкой нулевого деления шкалы 6 размер детали не будет соответствовать заданному. При достижении стрелкой нулевого деления круг отводится для правки алмазным карандашом 1. Во время правки шток, коснувшись упора 2, сдвигается назад на расстояние, равное толщине слоя  $a$ , снимаемого с круга при правке. При этом стрелка перемещается на некоторый угол  $\alpha$ .

После правки начинается чистовое шлифование, продолжающееся до тех пор, пока стрелка снова не достигнет нулевого деления, соответствующего теперь уже заданному размеру детали (так как износ круга во время чистового шлифования невелик).

Помимо показывающего устройства в данном устройстве имеется электроконтактное приспособление, действующее параллельно с ним (на чертеже не показано), которое автоматизирует цикл работы.

При большом припуске, мягком шлифовальном круге или при шлифовке шлицевых отверстий износ круга после чернового шлифования настолько велик, что при выходе для правки он не достигает алмазного карандаша 1. Для компенсации износа круга в этом случае устанавливается второй упор 3, который немного длиннее, чем упор 2. Действие его аналогично описанному выше.

### 3.4.4. Самонастраивающиеся контрольные системы

Самонастраивающиеся контрольные системы — это такие системы автоматического контроля и управления, которые способны самостоятельно изменять свои параметры настройки, обеспечивая заданное качество и управление точностью при произвольно изменяющихся внешних и внутренних условиях.

Самонастраивающиеся контрольные системы могут иметь замкнутую цепь настройки, создаваемую дополнительно к обычной замкнутой цепи регулирования, или разомкнутую цепь настройки.

При этом различают два основных метода осуществления коррекции. При первом (регулирование по отклонению) контролируют изменение основного показателя качества и производят корректировку органов настройки. При втором (регулирование по возмущению) контролируют основные возмущающие воздействия (например, вибрации) и осуществляют их компенсацию.

В самонастраивающихся системах имеется не менее двух цепей воздействия: цепь основного метрологического воздействия, позволяющая осуществлять автоматическую сортировку изделий или прекратить процесс обработки, и цепь вспомогательного воздействия, образующая контур самонастройки (корректировки).

Цепь самонастройки состоит из двух самостоятельных блоков: анализатора и настраивающего исполнительного устройства. Анализатор автоматически определяет значение и знак отклонения системы от требуемого параметра качества и выдает необходимый сигнал. Настраивающее устройство воспринимает этот сигнал и автоматически изменяет параметры регулятора в нужном направлении до момента ликвидации отклонения измеряемого параметра от номинального значения.

Системы, основанные на методе первичной коррекции *настройки по отклонению*, получили преимущественное распространение в автоматических устройствах пассивного контроля. В качестве примера рассмотрим систему автоматического контроля с самонастраивающимся корректирующим блоком (рис. 3.37). Автоматическая проверка и самонастройка настроечных параметров датчика осуществляется с помощью одного установочного шаблона овальной формы. По малой оси овала  $a-a$  ведется настройка контакта 1 (нижней границы поля допуска); по большой оси овала  $b-b$  — настройка контакта 2 (верхней границы поля допуска). Установочный шаблон вводится в измерительную скобу С автоматически — рычагом по команде блока управления. Вращение установочного шаблона осуществляется гибким валом. В данной схеме на каждой границе поля допуска предусмотрены спаренные контакты  $1-1'$  и  $2-2'$ , расстояние между которыми соответствует допустимой погрешности настройки по каждой из полуосей овала  $a-a$  и  $b-b$ . Если в момент настройки преобразователя она не нарушилась, то контакты 1 и 2

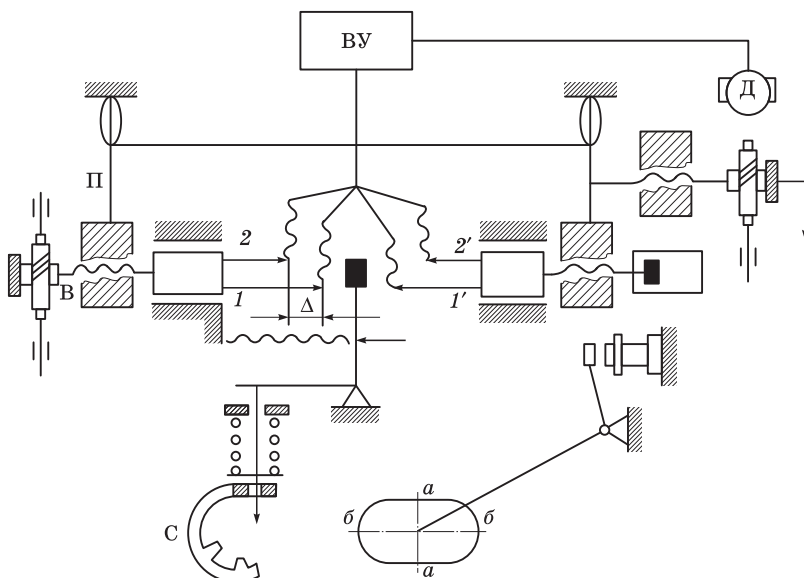


Рис. 3.37. Схема автоматического контроля с самонастраивающимся корректирующим блоком

замкнуты, а  $1'$  и  $2'$  — разомкнуты. В этом случае вычислительное устройство ВУ дает команду на продолжение работы исполнительного механизма Д в рабочем цикле.

Если же окажется, что замкнуты оба спаренных контакта по каждой полуоси установочного шаблона, то релейная следящая система с сервомотором обрабатывает положение рамки параллелограмма П и винта В с контактами  $1$ ,  $2$  до замыкания контактов  $1'$ ,  $2'$ . Если положение контактов отработано правильно, то при непрерывном вращении овального установочного шаблона поочередно срабатывают контакты  $1$  и  $2$  по своим полуосям (контакты  $1'$  и  $2'$  соответственно разомкнуты). Овальный установочный шаблон должен быть выполнен с высокой точностью. Рамка П может подвергаться температурной деформации, что приводит к появлению дополнительной погрешности.

Наиболее сложны, но и более совершенны комбинированные системы с автоматической *настройкой по отклонению* от заданного размера и с *коррекцией по возмущающему воздействию*. Эти системы не только позволяют поддерживать заданную

точность при отклонении фактического параметра от заданного, но и успевают ввести поправку, которая будет реализована уже при обработке данной заготовки.

Рассматриваемые системы обладают наибольшими производственными возможностями, поскольку в значительной мере исключают недостатки, свойственные в отдельности как методу настройки по отклонению, так и методу настройки по возмущающему воздействию. На рис. 3.38 приведена схема устройства активного контроля с автоматической настройкой по трем видам информации. Сигнал от индуктивного преобразователя и цепочки смещения нуля алгебраически суммируется в сумматоре, усиливается и поступает в фазовый детектор, питаемый опорным напряжением от задающего генератора. В фазовом детекторе переменное напряжение преобразуется в постоянное знакопеременное напряжение, которое поступает через фильтр низкой частоты ФНЧ в формирователь команд.

Блок автоматической настройки по априорной информации содержит три триггерно-релейных преобразователя. Нормально разомкнутые контакты преобразователей Р1, Р2, Р3 могут подсоединять к интегрирующей цепочке одну из дополнительных емкостей С1, С2 или С3, тем самым смещая уровень настройки окончательной команды.

Измерительная головка устройства контролирует диаметр заготовки сразу после ее установки на позицию обработки. Весь припуск на шлифование делится на три группы. В зависимости от того, к какой группе относится данная заготовка, срабатывает соответствующее реле Р1, Р2, Р3, в результате чего обеспечивается необходимая коррекция уровня срабатывания окончательной команды. В данной схеме блок поднастройки по априорной информации компенсирует погрешность, которая вызывается различными температурными деформациями заготовок при последующей обработке.

Блок текущей информации предназначен для ограничения отклонений от круглости обрабатываемой заготовки и содержит устройство согласования, фильтр высокой частоты (ФВЧ), усилитель переменного напряжения, детектор, усилитель постоянного напряжения (УПТ) и формирователь команд. Последний блок настраивается таким образом, чтобы в случае превышения определенного значения погрешности формы в поперечном сечении обрабатываемой заготовки обеспечить на этапе чистового






# 4

## ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

### 4.1. Сущность и этапы автоматизации сборочных процессов



Трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет значительную часть от общей трудоемкости изготовления машин. Так, в массовом производстве грузовых автомобилей трудоемкость сборочных работ занимает в общей трудоемкости 20 %, в единичном и серийном производстве — 40...60 %. При этом из всего объема сборочных работ на машиностроительных заводах механизировано только 15...20 %, а остальные выполняются вручную.

Автоматизация сборочных процессов в машиностроительной промышленности отстает от механизации и автоматизации процессов механической обработки деталей. Это объясняется недостаточной технологичностью собираемых изделий, отсутствием типовых устройств для автоматизации сборки, нестабильностью размеров собираемых деталей изделия. Автоматизированная сборка составляет примерно 6...7 % от всех видов сборки, поэтому необходимо сокращать трудоемкость сборочных работ путем их механизации и автоматизации.



Применение малой автоматизации сборочных процессов, при которой производится автоматизация отдельных сборочных операций, дает небольшой эффект. При этом облегчаются условия труда рабочих, улучшается качество собираемых изделий, но число рабочих-сборщиков не уменьшается. Высшей степенью автоматизации сборочных работ является комплексная автоматизация всех основных и вспомогательных сборочных работ. При этом производится автоматизация всех операций сборки узла или изделия с применением сборочных автоматов или автоматических линий, выполняющих сборку без участия человека. Функции рабочих-наладчиков сводятся к наблюдению за правильной работой автоматических сборочных устройств, их подналадкой, загрузкой бункеров деталями. Механизация и автоматизация сборочных процессов широко применяются в массовом производстве, меньше — в серийном и незначительно — в единичном производстве.

В массовом производстве технологические процессы сборки основаны на принципе подвижно-поточной организации сборки машин, предусматривающей:

- разделение всего технологического процесса сборки на ряд последовательно расположенных во времени и пространстве сборочных операций, выполняемых операторами-сборщиками, которые на рабочем месте выполняют определенный комплекс сборочных работ;
- применение специальных транспортных устройств для перемещения собираемых узлов между сборочными устройствами и обеспечения заданного темпа сборки;
- применение специальных транспортных устройств для подачи деталей и узлов к главному сборочному конвейеру;
- использование специальных и унифицированных инструментов и приспособлений для механизации и автоматизации технологического процесса сборки;
- механическую обработку деталей и сборку узлов машин в механосборочных цехах (например, цех двигателей производит механическую обработку деталей и сборку двигателя, цех задних мостов — механическую обработку деталей и сборку задних мостов автомобиля и т.д.).

При такой организации производства поточная сборка всей машины на главном сборочном конвейере выполняется из готовых собранных узлов и агрегатов, соединяемых между собой крепежными деталями.

Использование в массовом производстве подузловой, узловой и общей сборки позволяет применять на всех этапах поточную сборку в основном на подвижных транспортных устройствах — *конвейерах* (рис. 4.1). Характер движения конвейера может быть пульсирующим и непрерывным. Пульсирующие конвейеры перемещают собираемый узел или машину между рабочими сборочными местами через определенные промежутки времени, равные темпу сборки. Конвейеры для непрерывного перемещения узлов или машин между рабочими сборочными местами движутся непрерывно. Они имеют широкое применение в массовом производстве.

Механизация и автоматизация отдельных сборочных операций производится путем оснащения рабочих мест механизированными сборочными инструментами, электрическими и пневматическими подъемниками, а также специальными механизмами и устройствами для запрессовки, клепки, пайки, сварки, окраски

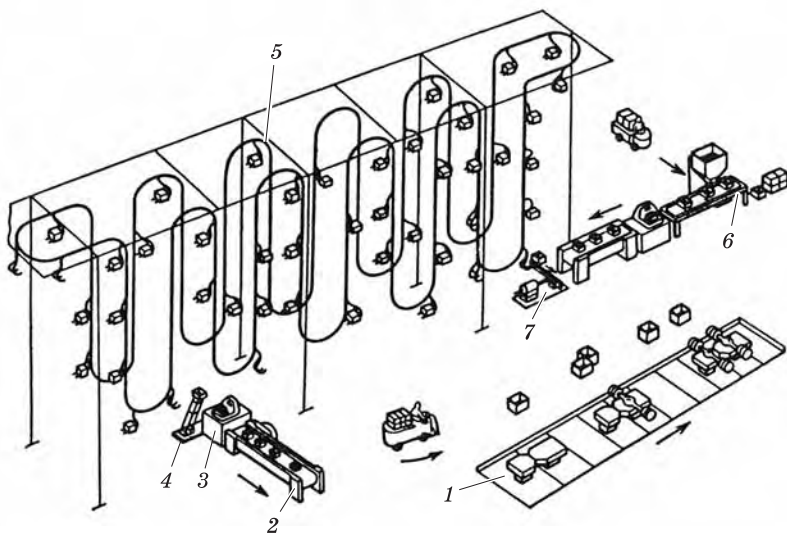


Рис. 4.1. Схема работы центрального сборочного конвейера с участком комплектации:

1 — главный конвейер; 2 — автоматическая разгрузочная линия; 3 — электронное дозирующее устройство; 4 — разгрузочный механизм; 5 — автоматический подвесной грузонесущий конвейер; 6 — автоматическая линия загрузки; 7 — загрузочный механизм

и контроля собранного узла. Вдоль главной линии сборки размещаются дополнительные рабочие места, на которых производится сборка отдельных сборочных единиц изделия.

Рабочее место в зависимости от взаимного пространственного расположения устройств, входящих в его состав, может быть одно- и многопозиционным, одно- и многорядным, со сменой места выполнения перехода и без смены. Наиболее часто встречающиеся типы взаимного расположения сборочных устройств приведены на рис. 4.2.

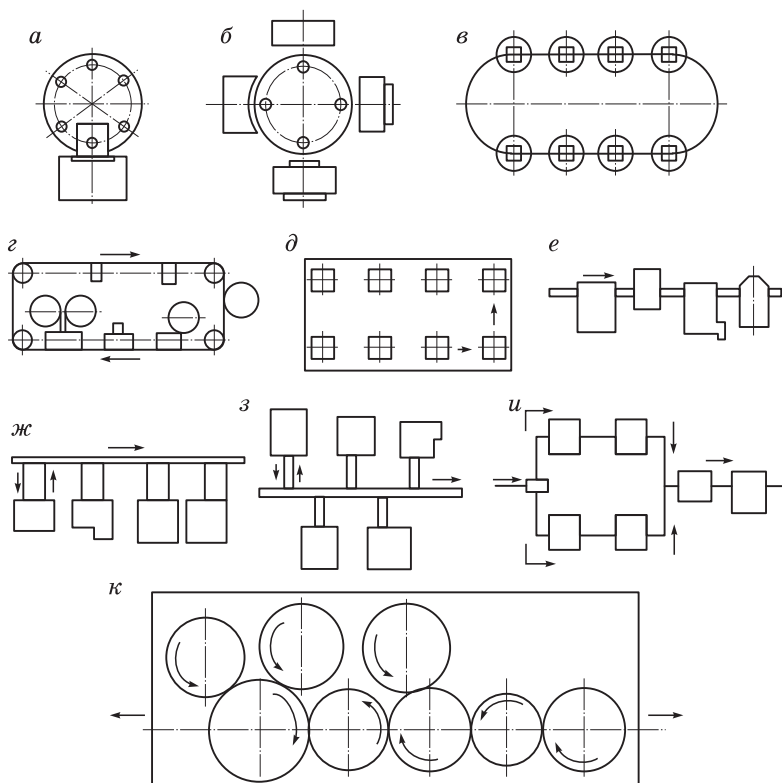
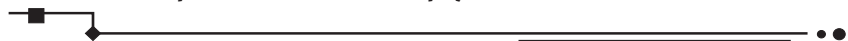


Рис. 4.2. Типовые пространственные структуры сборочных рабочих мест:

а — однопозиционная карусельная; б — многопозиционная карусельная; в — замкнутая вертикальная; г, д — замкнутая горизонтальная; е...з — прямолинейная; и — смешанная; к — роторная

Однопозиционные рабочие места (рис. 4.2, а) используются при сборке изделий, состоящих из 2...4 деталей, требующих значительных усилий для их соединения, либо при ручной установке деталей на позиции сборки. Такие комплексы легко можно включить в состав автоматической линии сборки. Многопозиционные рабочие места (рис. 4.2, б, в) оснащены карусельными транспортными устройствами, например поворотным горизонтальным или вертикальным столом. Карусельные устройства могут быть многопозиционными с перемещением собираемого изделия по замкнутой траектории (рис. 4.2, в...д). Многопозиционными являются также автоматические сборочные линии. Такие линии могут быть одно- и многорядными с прямолинейной (рис. 4.2, е...з) или смешанной (рис. 4.2, и) траекторией движения, а также роторными (рис. 4.2, к). Такая линия является комплексом из двух или более роторных рабочих мест, установленных на общем основании, соединенных транспортной системой и имеющих общий привод и систему управления.

## 4.2. Виды автоматизированного сборочного оборудования



Сборочное оборудование и технологическая оснастка могут иметь различную степень автоматизации. Сборочное оборудование, на котором можно автоматически выполнять все приемы процесса сборки, например выдачу деталей, их перемещение, ориентирование, соединение и в отдельных случаях их закрепление, называют *сборочным автоматом*.

Процесс автоматизированной сборки может производиться на одной или нескольких рабочих позициях сборочного автомата или на автоматической сборочной линии, состоящей из отдельных агрегатов. Сборочное оборудование, на котором только часть приемов сборочного процесса выполняется автоматически, а остальные — вручную, называют *сборочным полуавтоматом*.

В настоящее время для автоматизации технологических процессов сборки применяются следующие типы сборочного оборудования.

**Однопозиционные сборочные полуавтоматы** используют для сборки несложных узлов, состоящих из небольшого количества деталей. Базовую деталь и часть деталей, трудно поддающихся автоматической ориентации, устанавливают на сборочную позицию вручную. Остальные детали подаются из бункеров и устанавливаются на узел автоматически в заданной последовательности. Собранный узел снимается автоматическим выталкивающим устройством или вручную.

В **однопозиционных сборочных автоматах** подача собираемых деталей из бункеров на позицию сборки узла производится автоматически. Собранный узел со сборочной позиции автомата удаляется также автоматически. Однопозиционные сборочные автоматы могут встраиваться в автоматические сборочные линии.

**Многопозиционные сборочные полуавтоматы** применяют для сборки более сложных узлов с относительно большим количеством переходов и приемов сборки. Полуавтоматы такого типа имеют поворотный стол, на позициях которого установлены сборочные приспособления для закрепления деталей собираемого узла. Стол через определенный промежуток времени поворачивается делительным устройством на заданный угол в зависимости от числа позиций. Базовую деталь, а также детали, которые трудно подать из бункера на сборочную позицию автоматически, устанавливают в приспособление вручную.

**Сборочные линии** применяются для сборки сложных узлов или изделий. Их можно условно разделить на механизированные, частично автоматизированные и автоматические.

На **механизированных** линиях большинство операций выполняется с помощью механизированных и ручных инструментов и приспособлений, собираемое изделие перемещается между рабочими местами на конвейере, загрузка и разгрузка выполняются вручную.

На **частично автоматизированных** линиях большинство операций выполняется с помощью полуавтоматических и автоматических сборочных приспособлений, а остальные — с помощью механизированных и ручных, изделия перемещаются на рабочие места с помощью конвейера с автоматическим управлением потоками деталей и механизированной разгрузкой изделий.

**Автоматические** линии состоят из комплекса основных, вспомогательных и транспортирующих устройств, выполняющих монтаж изделия в строго определенной технологической

последовательности и определенным тактом выпуска без участия работников. Такие линии могут быть синхронными (транспортная система перемещает между рабочими местами все изделия одновременно с определенным тактом) и несинхронными (палеты с собираемыми изделиями не имеют жесткой связи с транспортером и могут занимать произвольные места между позициями сборки).

Количество рабочих позиций на автоматической линии может быть значительно меньше количества операций сборки, поскольку на каждой позиции может реализовываться по несколько сборочных операций. В отдельных случаях для выполнения особо трудных и ответственных операций привлекается оператор.

Пример автоматической линии для сборки головки блока цилиндров приведен на рис. 4.3. На линии производится монтаж 8 направляющих втулок клапанов, 8 гнезд и 4 винтовых заглушек. Обслуживание осуществляется одним оператором. Изделия перемещаются шаговым транспортером с гидравлическим приводом.

Транспортер имеет штанги, на которых закрепляются плиты с установочными штифтами. При подъеме штанг штифты входят в отверстия головки блока цилиндров и поднимают их,

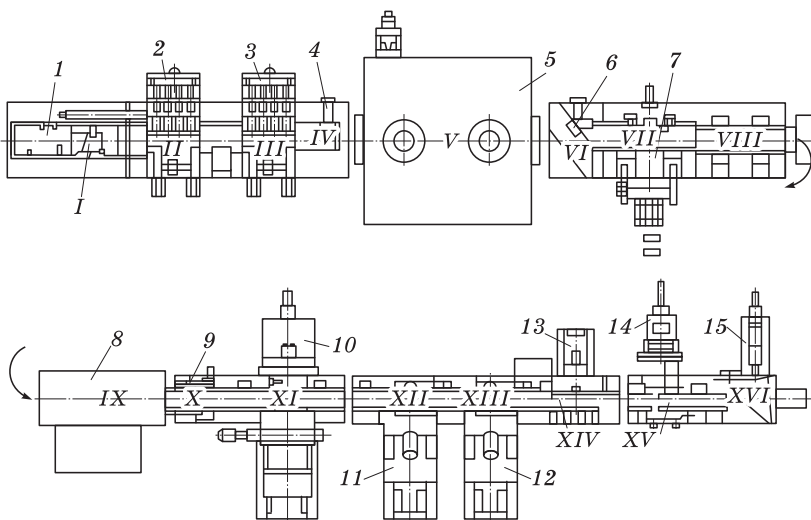


Рис. 4.3. Автоматическая линия сборки головки блока цилиндров (I...XVI — позиции сборки)

а штанги перемещаются на один шаг с помощью гидроцилиндров. При опускании штанг головка садится на штифты и плиту очередного рабочего места и закрепляется прихватами через эластичные прокладки, предохраняющими деталь от деформаций.

Транспортер 1 перемещает головку с загрузочной позиции I на позиции II и III, где на прессах 2 и 3 происходит запрессовка 8 направляющих втулок клапанов (по 4 на каждой позиции) вместе с опорными кольцами, предварительно установленными на специальном автомате, кинематически связанном с позициями II и III. Автомат имеет шестипозиционный поворотный стол, на каждой позиции имеются два приспособления, обеспечивающих синхронную сборку двух типов втулок (для входных и выходных клапанов). В процессе запрессовки втулок контролируется сила прессования (если она меньше допустимой, появляется сигнал прерывания цикла сборки). На позиции IV детали поворачиваются на 90° специальным кантователем 4 и передаются на цепной транспортер газовой печи 5, где головка нагревается до +170 °С. Из печи с помощью устанавливающего механизма 6 головки передаются на позицию VII для неподвижного закрепления. Одновременно на эту позицию из магазина транспортер подает гнезда клапанов, установленные в медной ванне для охлаждения жидким азотом. После охлаждения гнезда подаются на автоматический пресс 7 для запрессовки. После этого головка переходит на позицию охлаждения до нормальной температуры, по выходе с которой обдувается сжатым воздухом на устройстве 8. После этого через механизм 9 головка попадает на ударное устройство 10, на котором гнезда обстукиваются для исключения температурных деформаций в головке. На позициях XII и XIII происходит завальцовывание гнезд клапанов с помощью двух роликовых головок автоматов 11 и 12. На позиции XIV происходит смазывание отверстий под винты с помощью масленки 13, а на позициях XV и XVI автоматы 14 и 15 вворачивают заглушки, после чего головка блока передается на следующую автоматическую линию.

**Роторные сборочные автоматы и линии** применяются для сборки небольших изделий или узлов. Технологический процесс сборки происходит непрерывно, без периодических остановок одного или нескольких связанных в одну систему многопозиционных столов (роторов), на которых размещаются сборочные

приспособления с установленными в них собираемыми изделиями. При сборке узлов из нескольких деталей сборочные роторные автоматы имеют два-три питающих ротора, расположенных последовательно против соответствующих позиций. Роторные автоматы могут иметь автоматические измерительные устройства для контроля правильного положения собираемых деталей и т.д.

*Роторные сборочные автоматы* предназначены для объединения нескольких элементов в единое целое, т.е. для сопряжения (навивка, ввинчивание, обмотка, вставка, заливка и т.д.) или крепления (сварка, связывание, сшивание, завальцовка, обжим, пайка, клепка, гибка и др.) элементов деталей. При этом обеспечиваются требуемая точность и надежность соединения, определенное взаимное расположение деталей. Такие машины имеют несколько входов и один выход.

По основному технологическому назначению различают сборочные роторы для выполнения операций, требующих:

- вращательного и поступательного осевого движения (навивка, ввинчивание и т.п.);
- вращательного и поступательного радиального движения (обмотка, завальцовка и т.п.);
- одного поступательного движения (запрессовка, клепка, гибка, вставка и т.п.).

По числу позиций в одном инструментальном блоке сборочные роторы могут иметь одну или две и более сборочные (комплектующие) позиции.

Схема роторного сборочного автомата представлена на рис. 4.4. Одним из его основных элементов является непрерывно вращающаяся центральная колонна, на которой находятся несколько рабочих узлов, выполняющих сборочные переходы. На головке 2 транспортного подающего ротора в два уровня расположены схваты 1, к которым от двух питающих систем подаются собираемые детали (показано стрелками). Детали после захвата перемещаются к рабочему узлу 8, взаимодействующему с инструментами. Ролики ползунов 4, перемещаясь по копирам 6 и 9, расположенным в верхнем и нижнем барабанах ротора 5, с помощью тяг 3 подают деталь к рабочему узлу, на котором выполняется сборочный переход. После завершения процесса сборки собранное изделие принимает схват второго транспортного ротора 7 и передает далее (на следующую позицию, на транспортер и т.д.).



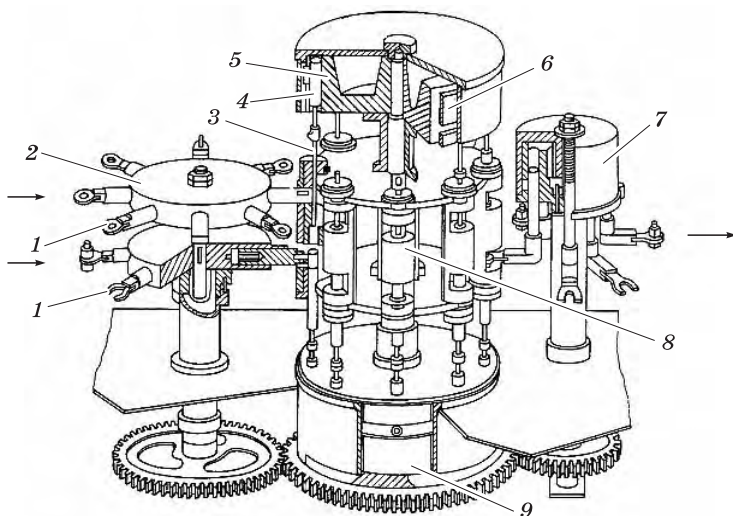


Рис. 4.4. Схема привода рабочих головок роторного сборочного автомата

Еще одной разновидностью роторных сборочных автоматов являются автоматы, имеющие операционный магазин, установленный на рабочем роторе. Сборка осуществляется поэтапно, между этапами детали под действием силы тяжести перемещаются с верхнего уровня вниз, к соответствующим сборочным приспособлениям. Схема многоуровневой сборки толкателя топливного насоса приведена на рис. 4.5. Перед сборкой детали устанавливаются на базовых поверхностях, преимущественно в вертикальном положении. Сборка может осуществляться последовательно или параллельно, что значительно увеличивает производительность.

*Автоматическая роторная линия* — система роторных автоматов, расположенных в технологической последовательности и объединенных автоматическими механизмами и устройствами для транспортирования деталей, разделения и соединения их потоков, накопления заделов, изменения ориентации деталей, удаления отходов, а также системой управления.

Отличительная особенность автоматической роторной линии — совмещение транспортных и технологических функций. При этом регламентированный поток обрабатываемых деталей

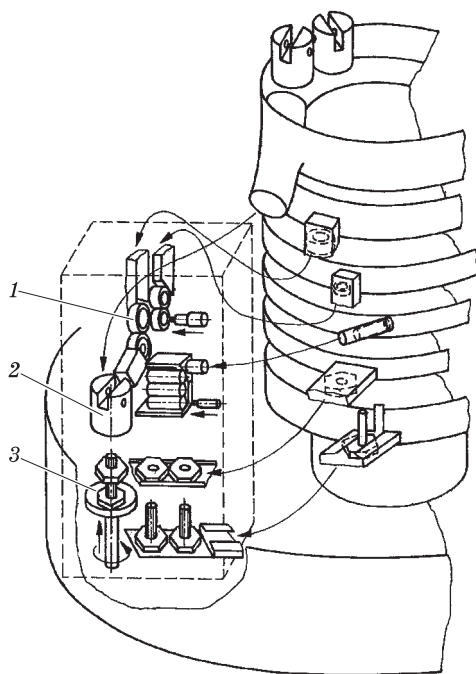


Рис. 4.5. Схема многоуровневой сборки толкателя топливного насоса:  
1 — первый уровень; 2 — второй уровень; 3 — третий уровень

с постоянной скоростью проходит все технологические операции от заготовительных до сборочных и комплектующих. Обычно автоматические роторные линии разделяют на участки по 3...10 технологических операций (роторов), между которыми устанавливают бункеры с запасом деталей. На каждом участке автоматической роторной линии существует жесткая межагрегатная связь, при которой технологические роторы и агрегаты с помощью транспортных средств (толкателей, кантователей, транспортных роторов и цепей) соединяются вместе и работают в едином ритме.

**Гибкая сборочная система** — комплект автоматизированных сборочных и других машин и приспособлений (например, для мойки, контроля, селекции, транспортировки, складирования и т.п.), соединенных между собой автоматизированными транспортными устройствами.

Для обеспечения функционирования гибкой сборочной системы необходимо наличие следующих подсистем:

- автоматической транспортно-складской системы, содержащей взаимосвязанные устройства для укладки, хранения, временного складирования, выгрузки и перемещения деталей и сборочных единиц с помощью соответствующих инструментов и приспособлений до места хранения или выполнения технологических переходов;

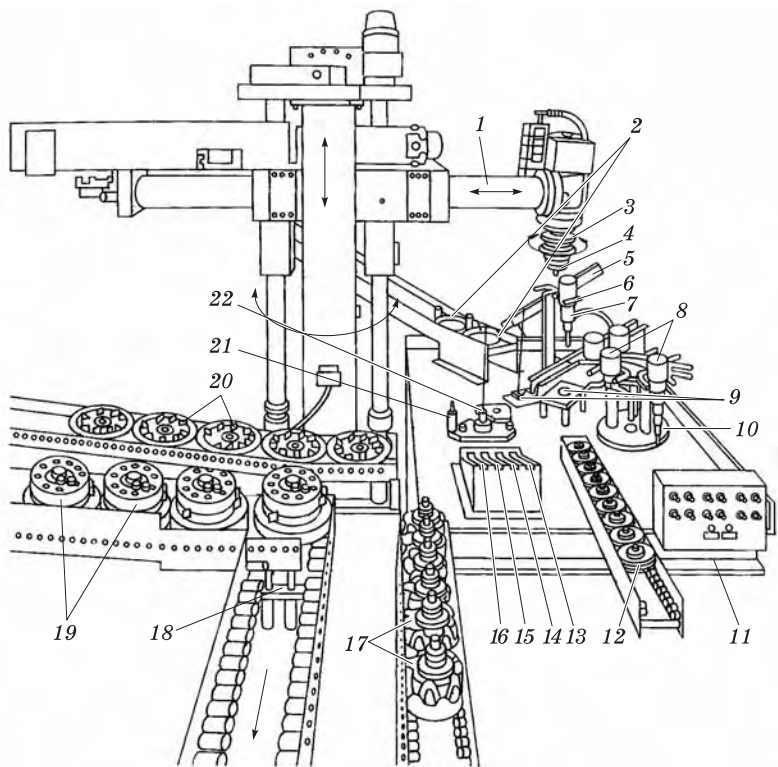


Рис. 4.6. Гибкая сборочная система для сборки генераторов:

1 — робот; 2 — передние крышки; 3 — упругий схват; 4 — инструмент; 5 — направляющая с винтами; 6 — стойка с инструментами; 7 — отвертка; 8 — сменные инструменты; 9 — фиксаторы; 10 — вращающиеся инструменты; 11 — блок управления; 12 — шкивы; 13 — шайбы под подшипники; 14 — шайбы стопорные; 15 — гайки; 16 — шайбы под роторы; 17 — роторы; 18 — позиция выхода готовых изделий; 19 — задние крышки; 20 — вентиляторы; 21, 22 — зажимные сборочные приспособления

- автоматической инструментальной системы, содержащей взаимосвязанные устройства для подготовки инструментов, их хранения, автоматической замены и контроля состояния, а также для удаления изношенных или поврежденных инструментов;
- автоматической системы контроля, содержащей устройства для контроля физических и геометрических характеристик деталей и сборочных единиц, состояния сборочного оборудования и производительности сборки;
- автоматизированной системы управления, охватывающей системы управления отдельными сборочными машинами и приспособлений, а также подсистемы, обеспечивающие качество и надежность сборки.

Структура гибкой системы для сборки генераторов переменного тока с использованием сборочного робота приведена на рис. 4.6. Система имеет две позиции — для промежуточной и окончательной сборки. В ходе цикла сборки 6 сменных инструментов используются 8 раз.

Основными элементами гибких сборочных систем являются *гибкие сборочные модули* — технологические машины с ЧПУ, обеспечивающие сборку некоторого ассортимента изделий. Примеры таких модулей для сборки изделий массой до 1 кг показаны на рис. 4.7.

В модуле (рис. 4.7, а) основным элементом является робот 1, управляемый системой управления 2. Робот обслуживает двухуровневый двухрядный транспортер 3 с палетами 4 для деталей и емкости 5 с деталями, установленные на поворотных устройствах.

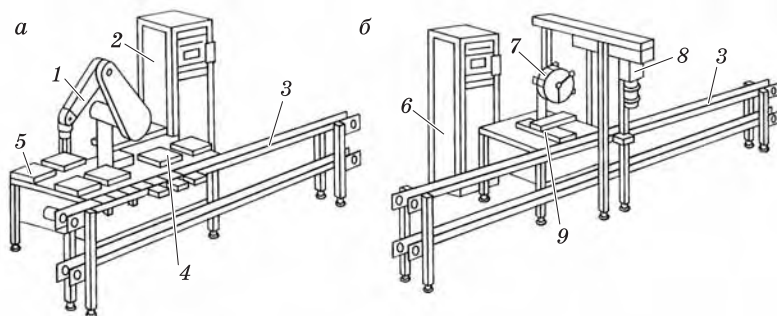


Рис. 4.7. Гибкие сборочные модули с использованием робота (а) и сборочной машины (б)

В модуле (рис. 4.7, б) использована программируемая сборочная машина с системой управления 6. Машина состоит из инструментальной головки 7 с электроприводом, робота 8 и двухкоординатного стола 9, перемещаемого непрерывно или дискретно. Робот обслуживает рабочую зону и транспортер 3.

Пример более сложной гибкой сборочной системы представлен на рис. 4.8. Комплектующие детали подаются в зону сборки с помощью транспортера 2 в кассетах 4. Из кассет 4 они перемещаются в кассеты 3 роботом 20, который укладывает их соответствующим образом. Для обеспечения возможности манипуляции различными деталями робот имеет магазин 19 со сменными схватами. Кассеты с комплектом деталей подаются транспортерами 1, 6 и 12 в зону сборки. На первой сборочной позиции детали из кассет 15 и 18, находящиеся в исходном положении, схватываются и ориентируются относительно сборочного приспособления 5 с помощью устройства 17. Установку и запрессовку деталей выполняет устройство 16, которое имеет возможность перемещения по координатам  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Устройства 16 и 17 снабжены магазинами 14 для автоматической смены схватов и сборочных инструментов. После выполнения операции на первой позиции собираемый узел вместе с приспособлением 8

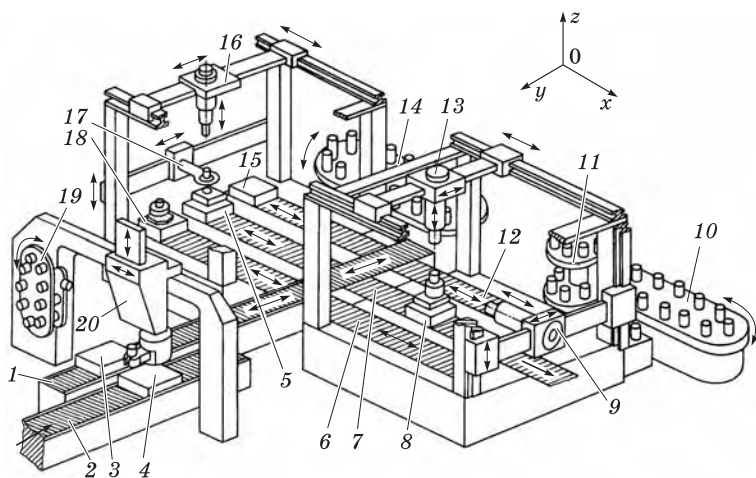


Рис. 4.8. Двухпозиционный сборочный центр для параллельной сборки двух изделий

перемещается транспортером 7 на вторую позицию, где находится головка для ввинчивания 9 и отвертка 13, перемещающиеся вдоль координат  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Головка имеет магазины 10 и 11 для автоматической смены инструментов. После выполнения технологических переходов на этой позиции изделие отводится из гибкой сборочной системы транспортером 7. Такая система может использоваться для сборки различных изделий в условиях мало- и среднесерийного производства.

Гибкие сборочные системы обычно входят в состав более крупных производственных единиц — участка, цеха, предприятия. Возможная схема такого предприятия приведена на рис. 4.9.

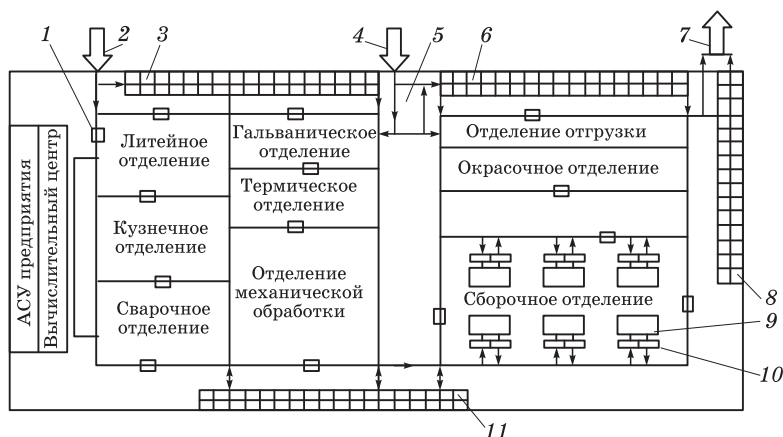


Рис. 4.9. Схема автоматизированного предприятия:

1 — робокары; 2 — доставка материалов; 3 — автоматизированный склад материалов; 4 — доставка покупных комплектующих; 5 — приемка и контроль покупных комплектующих; 6 — склад готовой продукции; 7 — отправка готовой продукции; 8 — автоматизированный склад готовой продукции; 9 — гибкие сборочные системы; 10 — бункеры; 11 — автоматизированный склад инструментов и приспособлений

### 4.3. Автоматизация подачи и ориентирования деталей в процессе сборки

Автоматизация подачи деталей или подузлов к месту выполнения сборочной операции или перехода является одной из важнейших и труднейших задач в автоматизации сборки. Это связано с разнородностью форм и размеров деталей и особенностями используемых сборочных процессов. Во многих случаях в связи с техническими трудностями такие действия выполняются вручную.

*Автоматизированным погрузочно-разгрузочным устройством (АПРУ)* называется комплекс механизмов, выполняющих автоматическое перемещение деталей в зону сборки, где они устанавливаются и крепятся в собираемом изделии, а после сборки — его перемещение в установленное место. В состав такого комплекса могут входить также устройства ориентации, обеспечивающие требуемое положение детали при загрузке.

АПРУ обычно состоят из емкостей с деталями (складов, бункеров, палет и т.п.) и систем загрузки, ориентации, ворошения, выгрузки, питателей, отсекателей, подъемников, транспортеров, приводов.

Загрузочные системы включают в себя:

- емкости (бункеры), в которых детали из хаотического положения переводятся в ориентированное состояние; это может осуществляться как в один, так и в два этапа — начальный и конечный;
- направляющие устройства, по которым ориентированные детали перемещаются в операционные магазины;
- операционные и предоперационные магазины, в которых детали хранятся в ориентированном состоянии; такие магазины используются как буферные устройства в случае аварии или временного отсутствия деталей;
- автооператор (подающее устройство), перемещающий ориентированные детали из магазина или бункера на позиции сборки.



#### 4.3.1. Классификация форм деталей в условиях автоматизированной сборки

Ориентирование обеспечивает точное положение деталей в пространстве. При этом особенности и сложность ориентирования зависят от формы и размеров деталей.

Детали обычно входят в соединение друг с другом цилиндрическими поверхностями или, реже, плоскостями. Возможны следующие характерные случаи ориентации:

- по одной наружной цилиндрической поверхности;
- двум наружным цилиндрическим поверхностям с параллельными осями;
- двум наружным цилиндрическим поверхностям с перпендикулярными (пересекающимися) осями;
- одной внутренней цилиндрической поверхности;
- двум внутренним цилиндрическим поверхностям с параллельными осями;
- одной наружной и одной внутренней цилиндрическим поверхностям с перпендикулярными осями;
- по одной плоскости и одной наружной цилиндрической поверхности;
- одной плоскости и одной внутренней цилиндрической поверхности;
- пластины по плоскостям.

В зависимости от формы детали можно объединить в группы с учетом возможных случаев их ориентации в пространстве. Так, детали типа тел вращения можно разбить на следующие группы (табл. 4.1).

1. Симметричные детали, т.е. детали, имеющие кроме оси вращения (оси симметрии) также плоскость симметрии, перпендикулярную оси. К данной группе относятся гладкие валики и втулки, ступенчатые валики с симметричными концами, гладкие и ступенчатые диски и т.д.

2. Детали, имеющие только ось вращения, т.е. валики с торцами различной формы или с несимметричными выточками, диски с канавками или фасками на одном торце, детали с головками (болты, винты, заклепки), детали конической формы, колпачки и т.д. Кроме первичного ориентирования при работе



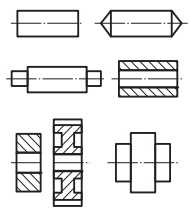
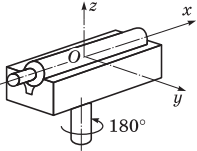
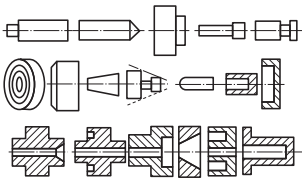
с такими деталями может возникнуть необходимость в их повороте в плоскости, перпендикулярной оси вращения. Такое ориентирование называется *вторичным*.

3. Детали, имеющие на цилиндрической поверхности лыски, канавки, прорезы, отверстия, т.е. с двумя плоскостями симметрии: проходящей через ось вращения и перпендикулярной к ней. К этой группе относятся симметричные валики с лысками и канавками, разрезные втулки, симметричные валики с отверстиями, пересекающимися с осью вращения, диски с отверстиями и канавками. Детали данной группы также требуют совмещения первичного и вторичного ориентирования.

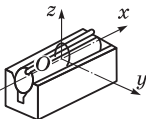
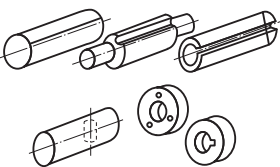
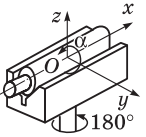
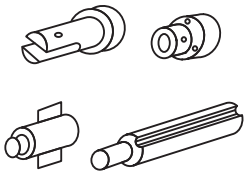
4. Такие же детали, как и в 3-й группе, но имеющие только одну плоскость симметрии, проходящую через ось вращения. Это несимметричные ступенчатые валики с разрезом по торцу, фланцы с отверстиями, детали ступенчатой формы с приваренными ушками, шлицевые валики и т.д. Детали этой группы требуют трех ступеней ориентирования.

Таблица 4.1

Классификация деталей, имеющих форму тел вращения

Группа	Ориентирование		Формы деталей
	первичное	вторичное	
1	Совмещение оси вращения с одной из осей координат	Отсутствует	
2	Совмещение оси вращения детали с одной из осей координат	  Поворот детали на 180° в плоскости, перпендикулярной оси вращения	

Окончание табл. 4.1

Группа	Ориентирование		Формы деталей
	первичное	вторичное	
3	Совмещение оси вращения детали с одной из осей координат	 <p>Поворот детали в плоскости, параллельной оси вращения</p>	
4	Совмещение оси вращения детали с одной из осей координат	 <p>Поворот детали на <math>180^\circ</math> в плоскости, перпендикулярной оси вращения (первая ступень ориентирования) и дополнительный поворот на некоторый угол в плоскости, параллельной оси вращения (вторая ступень ориентирования)</p>	

Первичное ориентирование легко осуществляется в бункере и не требует дополнительных ориентирующих устройств. Детали 2-й группы могут выходить из бункера после первичного ориентирования в двух различных положениях (например, несимметричные ступенчатые валики, конусы или колпачки выходят вперед различными торцами). Добавочное вторичное ориентирование осуществляется поворотом деталей в одной из координатных плоскостей на  $180^\circ$ . Детали 3-й группы выходят из бункера с произвольным положением лыски, канавки или отверстия, по которым их нужно дополнительно ориентировать поворотом относительно оси вращения в горизонтальной

плоскости. Детали 4-й группы выходят из бункера ориентированными только по оси вращения (первичное ориентирование) и требуют еще двух ступеней вторичного ориентирования путем поворотов в вертикальной и горизонтальной координатных плоскостях.

#### 4.3.2. Принципы ориентирования деталей в пространстве

В зависимости от массы, формы и размеров деталей для их ориентирования в пространстве могут использоваться различные силовые поля — электромагнитное, гравитационное, пневматическое и др. Рассмотрим некоторые принципы их использования.

При *ориентировании деталей в электромагнитном поле* используется воздействие внешнего магнитного поля на рамку, через которую течет электрический ток (рис. 4.10). При этом в деталях 2 электромагнитом 3 генерируется переменное магнитное поле и появляется ток электрической индукции. Этот ток в магнитном поле постоянного магнита 4 приводит к формированию пары сил, поворачивающих деталь 2 относительно магнита 4. Детали могут быть неподвижны или перемещаться по направляющим 1.

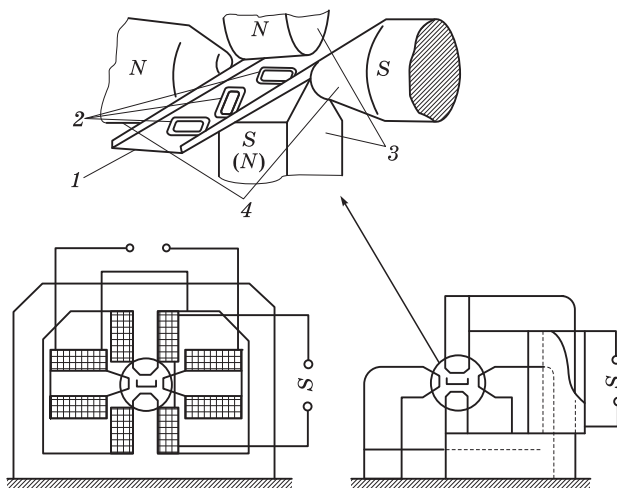


Рис. 4.10. Схема ориентации деталей в электромагнитном поле

Для ориентирования деталей из ферромагнитных материалов используется статическое магнитное поле; деталей удлиненной формы из любых материалов — электростатическое, имеющее аналогичный принцип действия, и переменное магнитное поле.

На рис. 4.11 приведена схема приспособления для ориентирования мелких деталей продольной формы в *постоянном магнитном поле*. Детали уложены в емкости 1 из немагнитного материала и прикрыты кассетой 2 (позиция I). При приближении к магниту 3 вектор силы направлен перпендикулярно к плоскости кассеты. Детали под воздействием момента сил поворачиваются вдоль направления поля и перемещаются в направлении большей напряженности магнитного поля. Как следствие, детали подходят к кассете и попадают в отверстия 4 (позиция II).

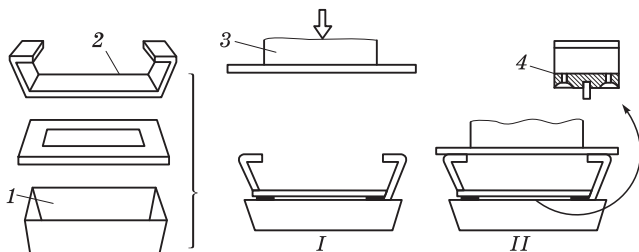


Рис. 4.11. Схема магнитного ориентирования и кассетирования мелких деталей (I — начальное положение; II — положение при кассетировании)

На рис 4.12 показана схема устройства для ориентирования деталей в *электростатическом поле*. В пространстве, ограниченном двумя параллельными плоскими электродами 1, поле достаточно однородно в центральной части и неоднородно вблизи кромок электродов. Градиент неоднородности поля в каждой точке направлен внутрь межэлектродного пространства. При введении в такое поле асимметричной детали 2 в форме скобы возникает момент сил, старающийся повернуть ее в положение минимального энергетического уровня. Как следствие, все детали поворачиваются толстой стенкой вперед.

Выбирая параметры неоднородности поля, можно получить момент сил, направление действия которого обеспечит одно из многих возможных положений детали, т.е. вторичное ориентирование.

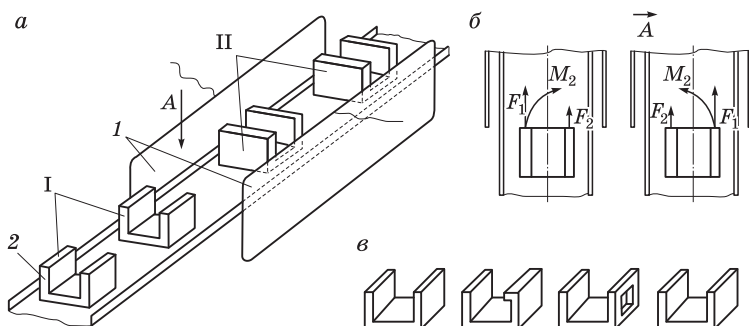


Рис. 4.12. Схемы вторичного ориентирования асимметричных диэлектрических деталей:

*a* — схема устройства; *б* — схема ориентирования ( $F$ ,  $M$  — возникающие силы и крутящий момент); *в* — возможные формы деталей

Ориентирование деталей в *переменном магнитном поле* основано на взаимодействии внешнего поля с вторичным полем, индуцированным самими деталями (рис. 4.13). В положении «*a*» на кольцо действуют максимальные силы сжатия, и оно находится в состоянии неустойчивого равновесия. В положении «*б*» пара сил образует момент, выводящий кольцо из этого состояния, в результате чего оно перемещается и занимает стабильное положение «*в*».

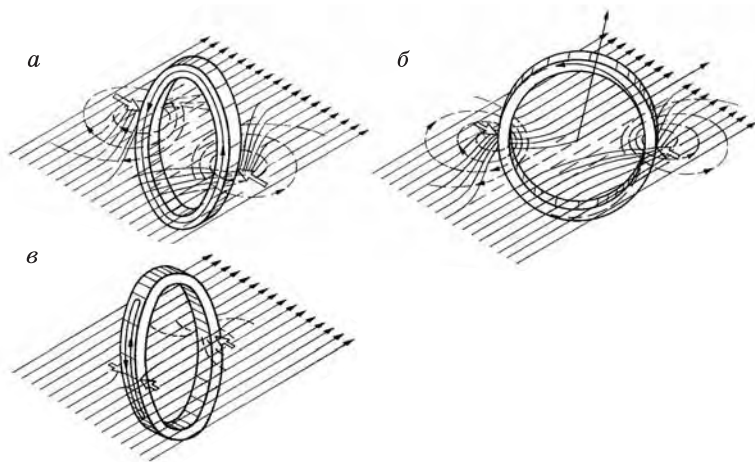


Рис. 4.13. Схема ориентирования деталей в переменном магнитном поле

Способ *ориентирования деталей в струе сжатого воздуха* основан на взаимодействии струи сжатого воздуха с формой детали. При выходе струи воздуха из сопла между базовой поверхностью устройства и деталью формируется стабильная воздушная подушка, позволяющая деталям свободно перемещаться, если угол наклона базовой поверхности больше угла трения между ней и деталью, либо оставаться неподвижно над этой поверхностью. При этом имеет место аэродинамический эффект притяжения детали к торцу сопла. Для отрыва детали от базовой поверхности должно выполняться условие

$$T \geq gG + pF,$$

где  $T$  — грузоподъемность воздушной подушки, Н;  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $G$  — масса детали, кг;  $p$  — атмосферное давление, Па;  $F$  — площадь опорной поверхности детали,  $\text{м}^2$ .

На рис. 4.14 показана схема пневматического устройства для *ориентирования плоских деталей сложной формы*. Устройство состоит из камеры 1, в верхней плите 3 которой имеются сопла 2 с переменными диаметром и углом наклона относительно вертикальной оси. Сопла размещены на концентрических окружностях, их диаметры и углы наклона уменьшаются по направлению к оси камеры. В камере установлен эталон 4, соответствующий форме ориентированной детали 5. При подаче сжатого воздуха внутрь камеры 1 в ней образуются области В и С, ограниченные эталоном и боковой поверхностью камеры. Между свободно лежащей ориентированной деталью 5 и плитой 3 образуется воздушная подушка. Вследствие разницы углов наклона осей сопел и их диаметров находящаяся на воздушной подушке деталь будет поворачиваться и перемещаться к центру плиты 3, пока не совпадет с контуром эталона 4. В ходе такого перемещения центр вращения эталона 4 и детали 5 должен совпасть с центром положения сопел на верхней плите 3. Далее деталь с помощью захватного устройства передается на позицию сборки.

Схема устройства для *взаимной ориентации деталей* в пневматическом поле приведена на рис. 4.15. При подаче сжатого воздуха из-под нижнего торца втулки со стороны зазора  $\delta$ , через который сжатый воздух выходит со скоростью  $v$ , давление  $p_v$

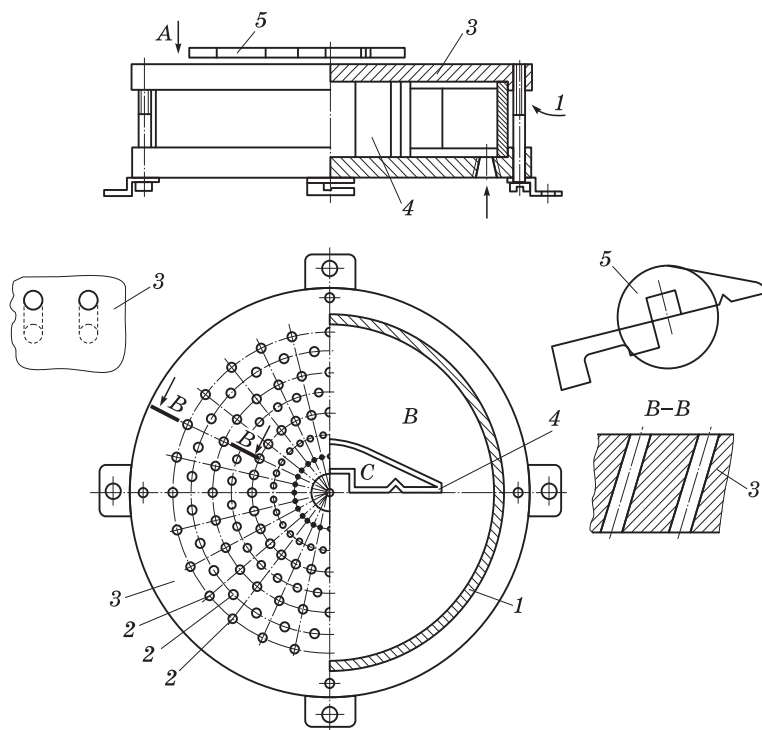


Рис. 4.14. Схема пневматического ориентирующего устройства

будет ниже, чем атмосферное давление  $p_a$  с противоположной стороны. Это приводит к возникновению центрирующей силы  $R$ , действующей в направлении  $O_1O_2$ .

Взаимное ориентирование деталей можно реализовать, используя реактивное действие струи сжатого воздуха (рис. 4.16). Вал со ступенями 1 и 2, соединенный с отверстием детали 4, размещается в цилиндрической насадке 3 с отверстиями  $a$  и  $b$ . Ось  $O_1$  вала совпадает с осью  $Ox$  системы координат  $Oxy$ , связанной с деталью 4. В ходе прохождения сжатого воздуха через отверстие  $b$  на насадку 3 будут воздействовать реактивные силы выходной струи. В положении детали, показанном на рисунке, на насадку будет действовать реактивная сила  $R_\delta$ , перемещающая насадку в направлении уменьшения смещения осей  $O$  и  $O_1$ , т.е. до совпадения осей вала и отверстия.

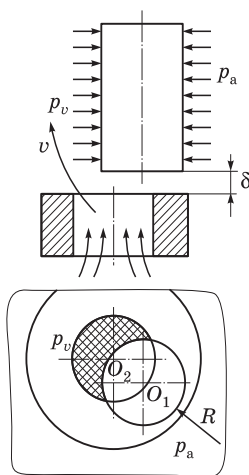


Рис. 4.15. Схема взаимного ориентирования деталей с использованием воздушной струи

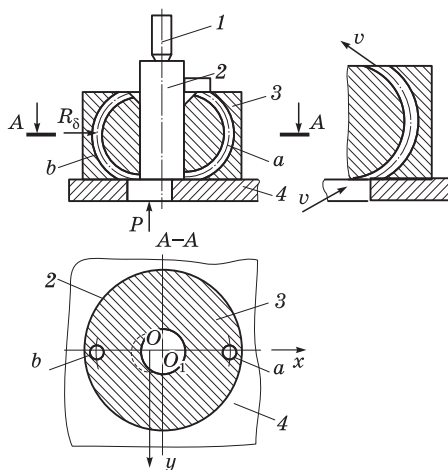


Рис. 4.16. Схема действия центрирующей пневматической насадки

На практике широко используется **ориентирование деталей в вибрационном поле**. При этом в состав ориентирующих устройств входит генератор колебаний, обеспечивающий перемещение деталей по определенной траектории в направлении, перпендикулярном направлению требуемого движения. Это упрощает перемещение относительно двух остальных осей.



Возможно три варианта движений. В общем случае деталь получает относительное перемещение в трех взаимно перпендикулярных направлениях, а ее случайная траектория будет вписана в параллелепипед со стенками, равными амплитудам  $2A_x$ ,  $2A_y$ ,  $2A_z$ . Колебания в плоскости, перпендикулярной направлению соединения деталей, описываются уравнением

$$x = A_x \sin(\omega_x t + \varphi_x),$$

где  $\omega_x$  — круговая частота колебаний;  $t$  — время;  $\varphi_x$  — начальная фаза колебаний.

В случае колебаний с равными частотами траекторией движения будет эллипс, который при  $A_x = A_y$ ,  $\varphi_x = \pi/2$ ,  $\varphi_y = 0$  трансформируется в окружность, а если  $\varphi_x = 0$  — в прямую, наклоненную к плоскости под углом  $45^\circ$ .

Если соотношение частот является целым числом, траектория будет замкнутой, дробным — будут иметь место «блуждающие» колебания.

Выбор принципиальной схемы ориентирующего приспособления обусловлен способом базирования детали, направлением вектора погрешностей ориентации, величины зазоров в соединении, конструктивных особенностей соединяемых деталей и ряда других факторов.

На рис. 4.17 показана схема приспособления, в котором детали для взаимного ориентирования перемещаются по синусоидальной траектории. Приспособление состоит из рабочего устройства 2, соединенного с неподвижным основанием двумя наклонными упругими прутками 1 и 8. Электромагнит 9 придает устройству 2 колебания в направлении, перпендикулярном плоскости положения прутков 1 и 8. Ориентируемая втулка 4 находится в устройстве 2, а валик 5 подается сверху толкателем 6. Вертикальные перемещения устройства ограничены отбойниками 3 и 7. В начале рабочего цикла электромагнит 9 придает устройству 2 колебания, близкие к прямолинейным. При перемещении толкателя 6 вниз прутки 1 и 8 изгибаются, и устройство перемещается вниз и направо. В результате детали 4 и 5 перемещаются относительно друг друга по синусоидальной траектории. При этом обеспечивается их взаимная ориентация и соединение, после чего устройство 2 возвращается в исходное положение.

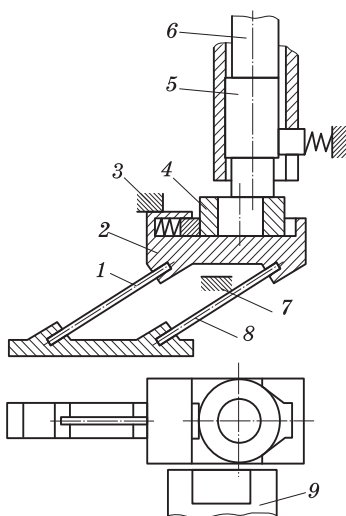


Рис. 4.17. Устройство для взаимного ориентирования вала с втулкой в вибрационном поле

В приспособлении, показанном на рис. 4.18, соединение вала с втулкой осуществляется иным способом. Под воздействием толкателя 8 валик 7 совместно с втулкой 6 движется вниз по спиральной траектории. Втулка 6 установлена в сборочном приспособлении 5, соединенном через подшипники 4 с вращающимся валом 3, ось которого наклонена под углом  $2...5^\circ$  относительно оси вращающегося ротора 1. Верхний конец вала 3, установленный в подшипниках 4, перемещается относительно оси вращения ротора 1, описывая восходящую спиральную траекторию до момента совпадения осей валика и втулки, когда наступает соединение деталей. После этого приспособление 5 под действием пружин 2 возвращается в исходное положение.

Вибрации могут эффективно использоваться также для вторичного ориентирования деталей. На рис. 4.19 показаны схемы вторичного ориентирования разрезанной втулки и валика с лыской. Ориентирование разрезанной втулки 2 (рис. 4.19, а) осуществляется на прямолинейной вибрирующей направляющей 3, на которой на плоских пружинах установлены полупризмы 4. Втулка 2 перемещается по направляющей и доходит до пластины 1, закрепленной на боковой стороне направляющей. При

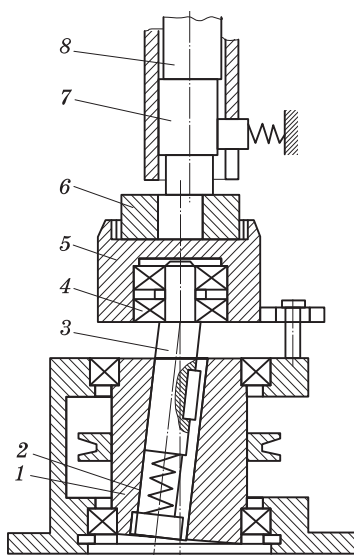


Рис. 4.18. Приспособление для взаимного ориентирования валика и втулки с использованием наклонного вала

вращения ориентируемой втулки вокруг оси пластина входит в ее прорез и втулка продолжает перемещение в ориентированном положении. Ориентирование валика с лыской происходит аналогичным образом (рис. 4.19, б). Для обеспечения определенного положения валика 3 на призматической направляющей 1 используется прикрепленная к ней пластина 2.

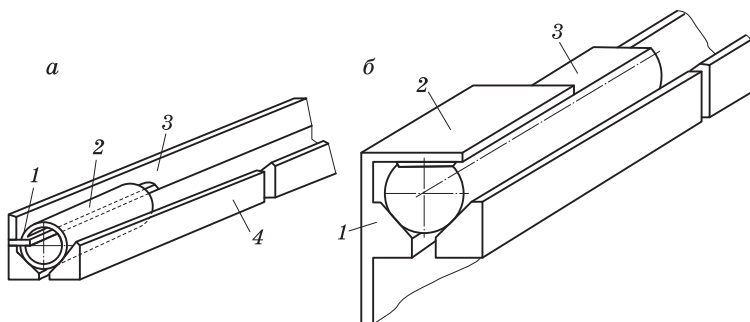


Рис. 4.19. Схемы вторичного ориентирования с использованием вибраций:

а — разрезанной втулки; б — валика с лыской

Наиболее распространенный способ ориентирования деталей — *за счет силы тяжести (в гравитационном поле)*. Примеры такого ориентирования показаны на рис. 4.20.

Так, если заготовка типа стакана, колпачка движется открытой частью вперед, она натывается на эксцентрично установленный штырь со скосом и опрокидывается дном вниз. Заготовка, движущаяся закрытой частью вперед, скользит по скосу штыря также дном вниз (рис. 4.20, *а*). Заготовки, имеющие смещенный центр тяжести относительно середины своей длины, опираясь на призму, установленную в середине по длине лотка, будут опрокидываться тяжелой частью вниз в левый или правый карманы (рис. 4.20, *б*). В конструкции, показанной на рис. 4.20, *в*, на наклонном вращающемся диске выполнены карманы такой глубины, что заготовки, попавшие туда дном вниз, удерживаются, а дном вверх — опрокидываются относительно ребер карманов.

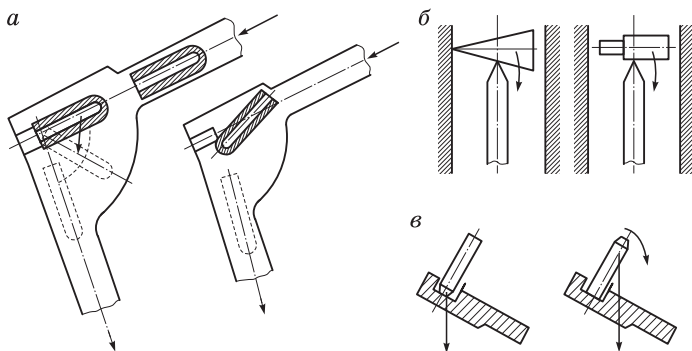


Рис. 4.20. Ориентирование заготовок в гравитационном поле

**Ориентирование деталей с помощью систем технического зрения** базируется на замене световых сигналов электрическими, которые далее преобразовываются в цифровые и подвергаются компьютерному анализу. Системы технического зрения обычно функционируют на базе промышленных роботов, оснащенных видеокамерой и системой освещения. Пример системы технического зрения — на базе робота Puma 260 А — приведен на рис. 4.21.

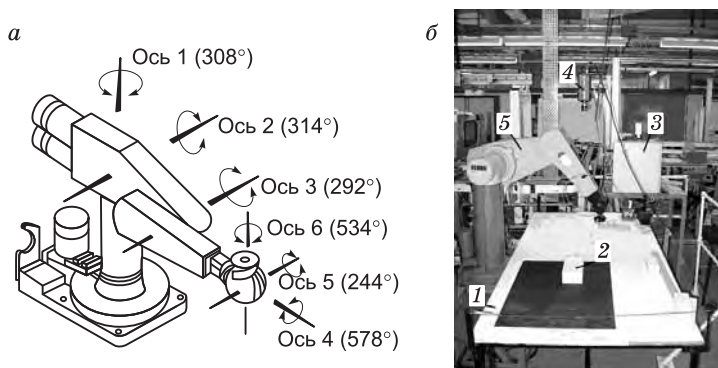


Рис. 4.21. Лабораторная установка для исследований системы технического зрения:

*а* — оси координат и диапазоны перемещений робота Puma 260 А;  
*б* — внешний вид установки (1 — стол; 2 — предмет; 3 — компьютер;  
 4 — видеокамера; 5 — робот)

Системы машинного зрения призваны заменить человека на сборочных операциях. Некоторые возможности человеческого и машинного зрения приведены в табл. 4.2.

Функционирование систем машинного зрения основано на анализе положения изделия в принятой системе координат, обработке полученной информации и принятии решения об изменении исходного положения предмета в соответствии в используемым алгоритмом математической обработки исходных данных.

Таблица 4.2

Сравнение зрения человека и машины

Параметр	Человек	Машина/компьютер
Гибкость	Легко приспосабливается к различным заданиям	Выполняет только определенные задания, требует квантированной информации (в пикселях)
Умение	Достаточно точно оценивает субъективную информацию (например, легко выявляет подпорченные фрукты на основе их цвета, формы, запаха и т.д.)	В состоянии выполнить измерения на основе заранее известных исходных данных

*Окончание табл. 4.2*

Параметр	Человек	Машина/компьютер
Цветное зрение	Субъективная оценка цветов	Зрение основано на измерениях монохроматических длин
Чувствительность	Приспосабливается к условиям освещения и различным расстояниям до предмета. Проблемы с различением оттенков серого цвета (7...10 оттенков)	Высокая чувствительность к изменениям освещенности, расстояния до предмета и фактуры его поверхности. Легко различает до 256 оттенков серого цвета
Время реакции	Скорость реакции в лучшем случае 0,1 с	Скорость реакции весьма высокая (может достигать 0,001 с)
Объемное зрение	Легко ориентируется в трехмерном пространстве	Легко ориентируется в двухмерном пространстве, но трехмерное требует синхронной работы двух камер и соответствующего математического обеспечения
Анализ исходных данных	Может легко добавлять необходимые данные. Анализ сопряжен с высокой вероятностью ошибок	Может легко добавлять дополнительные данные в постоянную базу данных при небольшом увеличении затрат
Особенности восприятия	Различает освещенность в соответствии с логарифмической зависимостью. Находится под воздействием внешней окружающей среды	Различает освещенность в соответствии как с логарифмической, так и с линейной зависимостью
Спектр частот	300...700 нм	Может функционировать в диапазоне от инфракрасного до рентгеновского излучения

#### 4.3.3. Конструкции загрузочно-ориентирующих устройств

В автоматизированных сборочных системах широко используются загрузочно-ориентирующие устройства различных типов:

- емкостные (направляющие, коробчатые или вращающиеся);
- вибрационные с механическим, пневматическим или электромагнитным приводом;

- роторные, взаимодействующие с роторными машинами или линиями.

Детали в загрузочно-ориентирующих устройствах получают движение с помощью специальных механизмов, которые должны также предохранять детали от заклинивания.

Загрузочно-ориентирующие устройства обычно состоят из следующих основных узлов:

- устройства для загрузки неориентированных деталей;
- устройства приемки деталей и их предварительной установки;
- устройства окончательной ориентации и установки деталей;
- устройства передачи деталей к направляющим или операционному магазину (вместе с отсекателями);
- механизма сброса неправильно сориентированных деталей.

Среди загрузочно-ориентирующих устройств наиболее распространены бункерные.

**Бункерные устройства с карманами** являются наиболее широко распространенными типами бункерных ориентирующих устройств. Характерная их особенность — наличие карманов, т.е. углублений, вмещающих по одной детали в определенном положении. Карманы, форма которых должна соответствовать конфигурации деталей, могут располагаться по окружности диска, кольца или барабана.

Данный вид загрузочно-ориентирующих устройств применяется для автоматической загрузки деталей, имеющих вид валиков, гильз, дисков и пластин.

Автоматическое ориентирование деталей осуществляется внутри бункера за один или два этапа. Для деталей более сложной формы автоматическое ориентирование может продолжаться вне бункера.

Примером загрузочного устройства, осуществляющего автоматическое ориентирование в два этапа, является конструкция, предназначенная для автоматической загрузки деталей, имеющих форму гильз или других тел вращения, с центром тяжести, смещенным относительно геометрического центра их наружного контура (рис. 4.22). Детали, насыпанные навалом в бункер 1 в таком количестве, чтобы не меньше половины поверхности наклонного захватного диска 4 оставалось открытой, устремляются под действием силы тяжести вниз, к линии пересечения внутренней цилиндрической поверхности бункера с верхней плоскостью диска. Те из деталей, которые заняли положение вдоль

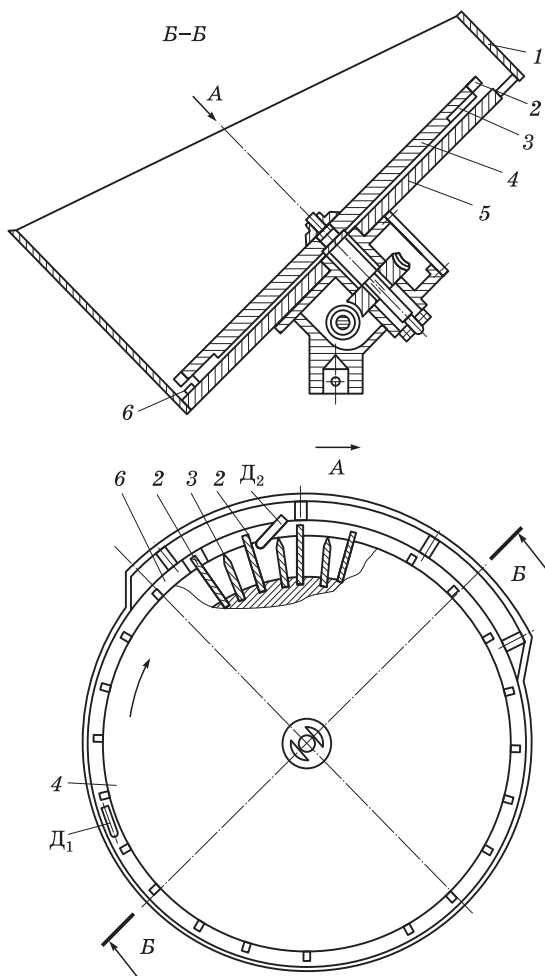


Рис. 4.22. Схема бункерного устройства с карманами

хорды, прилегая своей образующей к боковой стенке бункера (деталь  $Д_1$ ), при вращении диска 4 западают в карманы, образуемые между стенкой бункера 1, ободом диска 4, дугообразной планкой 6 и перегородками 2. Планка 6, длина которой равна примерно половине окружности диска, предназначена для уменьшения глубины карманов и предотвращения захвата одним карманом двух деталей одновременно.



Гильза может расположиться в кармане донышком вперед или назад, следовательно, может занимать два различных положения, из которых только одно является правильным. Поэтому необходимо прибегнуть к вторичному ориентированию, т.е. переориентировать или удалить неправильно расположенные детали.

Вторичное ориентирование деталей в описанном устройстве производится путем поворота их на остриях перегородок 3, каждая из которых разделяет полости, образуемые перегородками 2 на нижней стороне диска 4, на два радиальных кармана. При вращении диска по часовой стрелке детали, запавшие в карманы, извлекаются из общей массы и перемещаются вверх, где, соскользнув по скошенному концу планки 6 на поверхность днища 5, скатываются вниз и упираются в острия перегородок 3. Так как центр тяжести гильз смещен, детали, как бы они ни были расположены в карманах, поворачиваются на остриях и западают в радиальные карманы донышками вниз (деталь  $D_2$ ). Для того чтобы дать возможность деталям повернуться на остриях, верхняя часть боковины бункера несколько отодвигается от днища.

В *щелевых бункерных устройствах* рабочим элементом захватного органа служит щель. Форма и размеры поперечного сечения щели соответствуют форме и размерам поперечного сечения правильно расположенной детали. Поэтому в щель западают только те детали, которые перед входом в нее оказались в правильном положении. Западание детали в щель может происходить сверху или сбоку в зависимости от формы детали и расположения щели.

Характерной особенностью всех щелевых устройств является то, что в них щель захватного органа всегда плавно переходит в лоток. Благодаря этому подача ориентированных деталей из бункера происходит без заклиниваний, предохранительные механизмы становятся ненужными, конструкция ориентирующих устройств становится более простой и надежной.

Щелевые устройства чаще всего употребляются для загрузки стержневых деталей с головками (винтов, болтов, заклепок, гвоздей и т.п.). При соответствующем конструктивном оформлении они могут оказаться пригодными также для конических и плоских деталей.

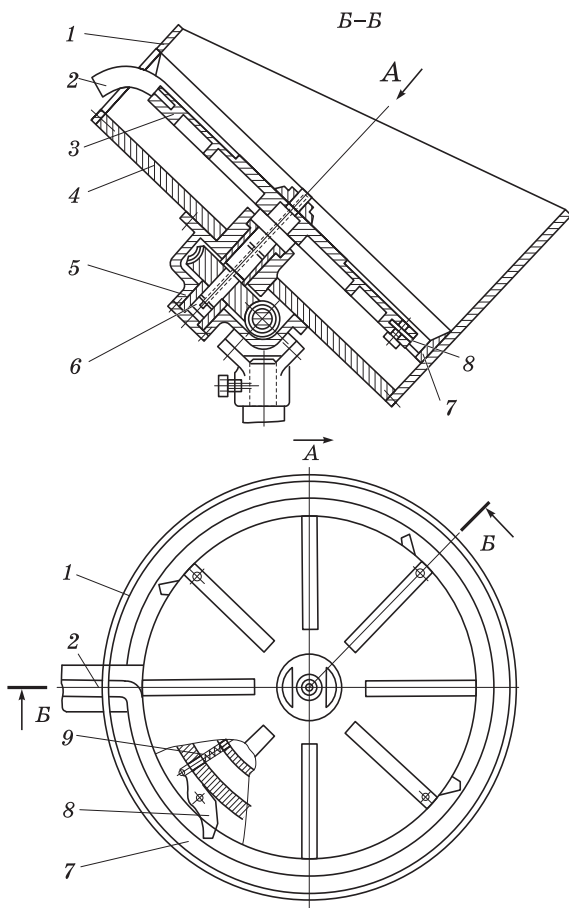


Рис. 4.23. Схема щелевого бункерного устройства для метизов

Щелевое бункерное устройство, показанное на рис. 4.23, служит для автоматической загрузки *метизов* (винтов, болтов и заклепок). Детали, насыпанные навалом в бункер 1, устремляются вниз, где западают в кольцевую щель между ободом диска 3 и внутренней поверхностью кольца 7, приваренного к боковине бункера 1. Количество загружаемых в бункер деталей, как и для других типов бункеров, должно быть таким, чтобы по крайней мере половина поверхности диска (или днища) оставалась открытой. При вращении диска 3, который укреплен на валу 6

редуктора 5, соединенного с днищем 4, детали захватываются собачками 8, отжимаемыми пружинами 9, и выталкиваются в лоток 2. Если лоток заполнен, собачки отжимаются остановившимися деталями и проскальзывают по их поверхности до тех пор, пока лоток не освободится.

Щелевое бункерное устройство, показанное на рис. 4.24, предназначено для автоматического ориентирования деталей, имеющих форму *плоских шайб* и *пластин*. Детали, насыпанные в бункер 3, устремляются под действием силы тяжести в щель, образуемую между нижней плоскостью кольца 1, приваренного к бункеру 3, и верхней плоскостью дисков 8 и 9. Для облегчения поворота продолговатых деталей и улучшения условий

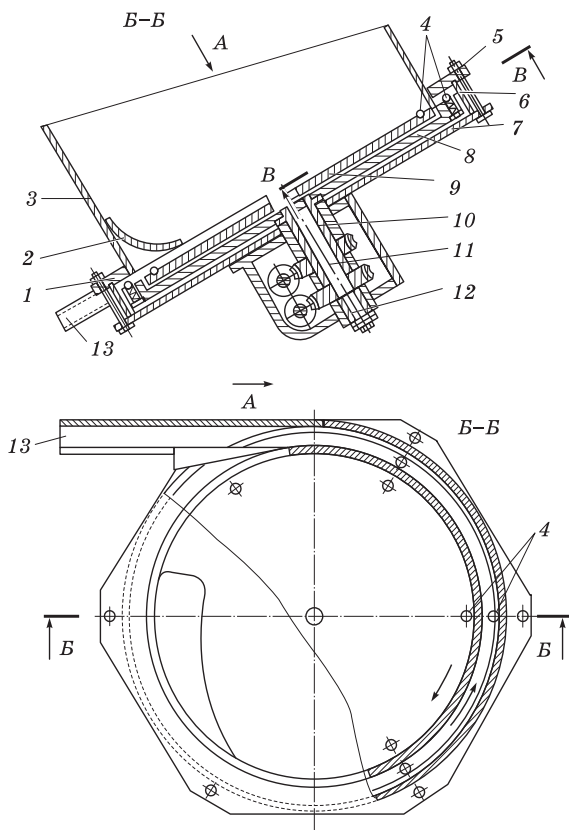


Рис. 4.24. Щелевое бункерное устройство для плоских деталей

западания диски 8 и 9 вращаются в противоположных направлениях, указанных стрелками, а над входом в щель установлен козырек 2.

Детали, запавшие в щель, увлекаются вверх благодаря трению о поверхность диска 8 и выталкиваются в лоток 13. Чем больше коэффициент трения между диском 8 и деталями, тем сильнее напор деталей в лотке 13. Для повышения этого напора можно применить подпружиненные шарики 4 или покрыть рабочую поверхность диска 8 резиной. Привод диска 8, соединенного с втулкой 10, и диска 9, посаженного на вал 11, осуществляется от электродвигателя через редуктор 12, прикрепленный к днищу 7. Бункер 3 соединен с днищем 7 болтами 5. Обруч 6 обеспечивает требуемые размеры щели.

Во всех случаях, когда загружаемые детали обладают открытыми внутренними полостями (например, втулки, гильзы, колпачки, кольца и т.п.), захват и извлечение деталей может осуществляться путем надевания их на штыри или крючки в **крючковых бункерных устройствах**.

Конструкции крючковых устройств отличаются друг от друга способом расположения крючков и способом передачи деталей из крючков в лоток. Обычно крючки располагаются либо на цилиндрической или торцовой поверхностях диска, либо на внутренней поверхности кольца. Передача деталей с крючков в транспортирующий лоток может происходить принудительно или свободно. При принудительной передаче в том случае, когда лоток окажется заполненным деталями, возможно повреждение захватного органа, поэтому захватный орган обязательно снабжается предохраняющим устройством в виде фрикционной или зубчатой пружинящей муфты. Для предотвращения возможного заклинивания крючков с деталями в лотке-трубке предохраняющее устройство выполняется так, чтобы при каждой задержке захватного органа крючки отходили назад на небольшое расстояние.

Основным преимуществом крючковых устройств перед другими типами автоматических ориентирующих устройств является то, что они позволяют осуществить полное ориентирование таких деталей, как колпачки или гильзы, за один этап.

Типовая конструкция крючкового бункерного устройства приведена на рис. 4.25. Показанное устройство применимо для автоматической загрузки втулок или гильз. Детали, насыпанные

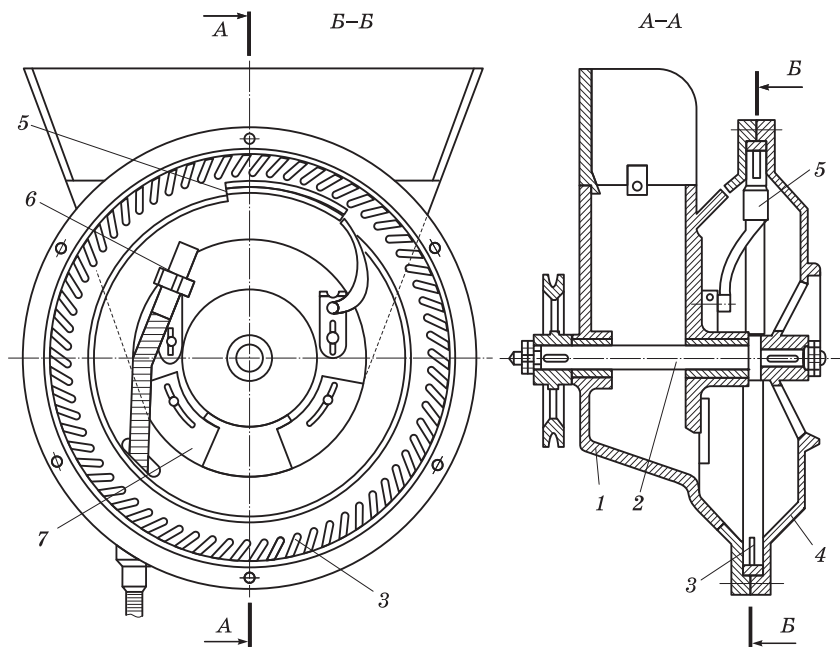


Рис. 4.25. Крючковое бункерное устройство для втулок и гильз

навалом в бункер 1, направляются через отверстие, регулируемое заслонками 7, к захватному органу 3, сидящему на валу 2. При вращении захватного органа детали надеваются на штыри, расположенные по внутренней поверхности кольца, и поднимаются вверх. Минув поддерживающий мостик 5, детали соскальзывают с крючков и падают в приемную трубку 6. Если трубка заполнена, детали падают обратно в бункер на ориентирующие поверхности 4. Так как при таком способе перехода деталей в лоток заклинивание захватного органа исключено, потребность в предохраняющем механизме отпадает.

**Баранными** называются автоматические ориентирующие устройства, в которых захватный орган имеет вид вращающегося барабана, сбрасывающего захваченные детали на лоток. Захват деталей осуществляется лопастями или карманами, расположенными на внутренней поверхности барабана, который одновременно выполняет функцию ориентирующего устройства.

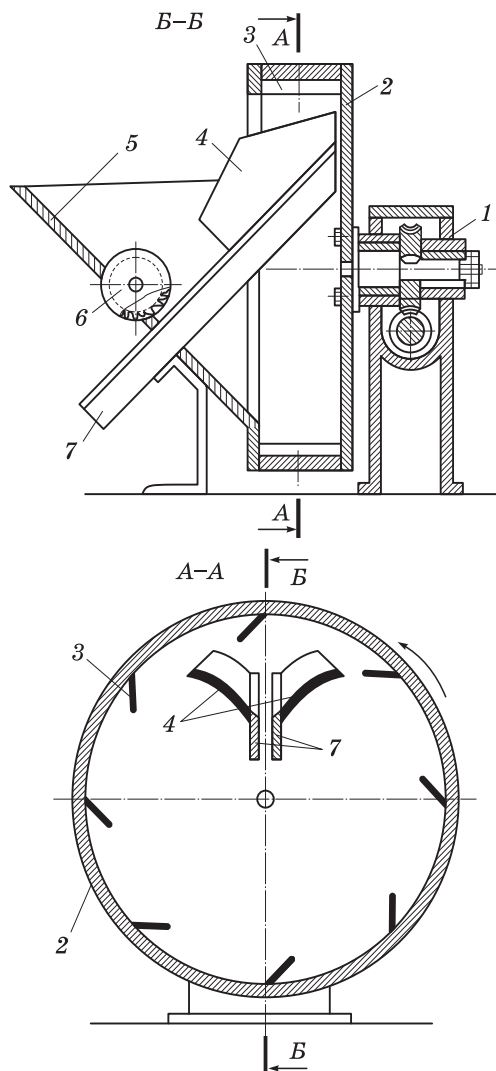


Рис. 4.26. Барабанное бункерное устройство

Одна из конструкций барабанного бункерного устройства, предназначенного для загрузки деталей типа винтов, показана на рис. 4.26. Детали насыпаются в ковш 5, из которого выпадают внутрь барабана 2. Барабан 2, приводимый от редуктора 1,

вращаясь в направлении стрелки, захватывает лопастями 3 детали и сбрасывает их на ориентирующие поверхности 4, переходящие в лоток 7. Контроль правильности положения деталей, движущихся по лотку 7, производит звездочка 6, сбрасывающая неправильно расположенные детали обратно в ковш 5.

В трубчатых барабанных устройствах (рис. 4.27) детали находятся во вращающемся барабане 1 и под действием центробежной силы перемещаются к стенкам барабана, открывая вход в трубку 2. Толкатель 3, установленный внутри барабана, совершает периодические движения в направлении оси барабана, отделяя некоторую часть деталей, которые падают в центр барабана, теряют скорость и попадают в отводящую трубку. Детали, не попавшие в трубку, вновь перемещаются к стенкам барабана.

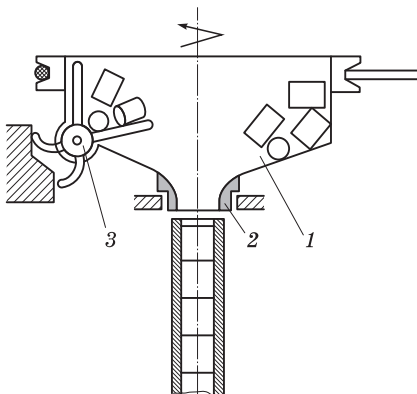


Рис. 4.27. Схема вращающегося трубчатого загрузочного устройства с ориентирующей трубкой на оси барабана

В **скребковых бункерных устройствах** (рис. 4.28) детали захватываются из бункера 1 скребками 4, закрепленными на ленте или цепи 2, и поднимаются вверх. Заслонка 3 защищает детали от выпадения, пока они не окажутся против выходного отверстия 5. Привод обеспечивается двигателем 7 и редуктором 6.

В **загрузочном устройстве с толкателем** (рис. 4.29), предназначенном для тяжелых деталей, процесс загрузки реализуется в два этапа. Детали загружаются в предварительный

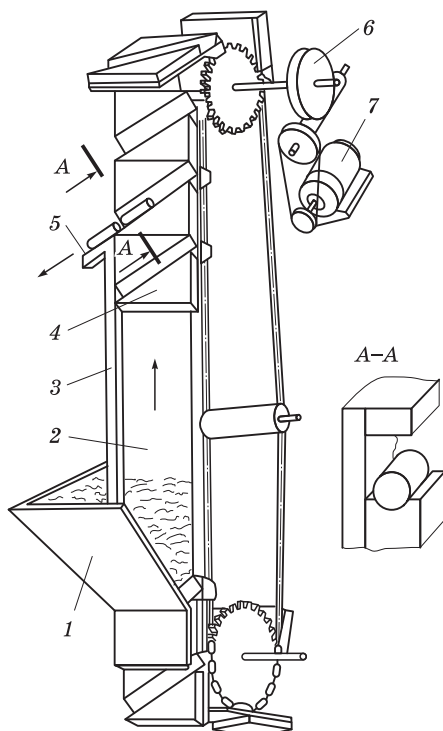


Рис. 4.28. Схема скребкового загрузочного устройства элеваторного типа

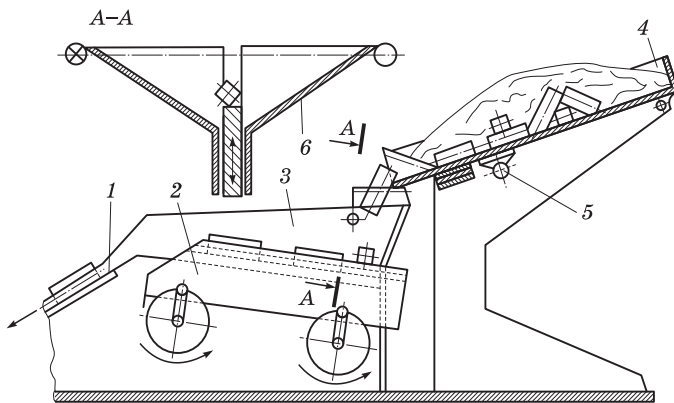


Рис. 4.29. Схема загрузочного устройства с толкателем



бункер 4, после чего вибрационным устройством 5 перемещаются в основной бункер 3, ограниченный двумя наклонными стенками 6. Толкатель 2 совершает возвратно-поступательное движение вверх-вниз, захватывает деталь и перемещает ее на направляющую 1.

В *вибрационных загрузочных устройствах* (рис. 4.30) детали засыпаются в бункер 2, подвешенный на трех плоских пружинах 10. В центре находится сердечник 3 электромагнита, а на плите 5 — электромагнит 4 с системой управления 1. Зазор между ними регулируется винтом 6 и резиновыми прокладками 7. Пружины 10 закреплены на массивном основании 8, лежащем на амортизаторах 9. Благодаря вертикальным и крутильным колебаниям бункера 2 и силам трения детали перемещаются к выходу из бункера по направляющим 11.

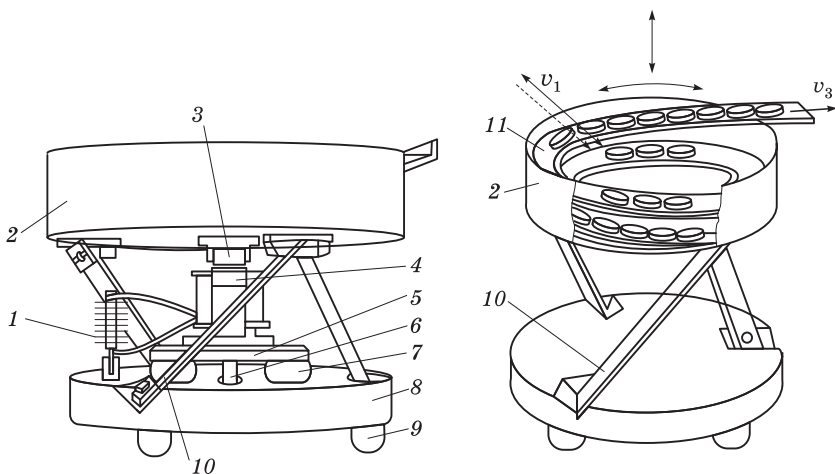


Рис. 4.30. Вибрационное загрузочное устройство с электромагнитным приводом

В *роторных загрузочных устройствах* (рис. 4.31) детали 16 засыпаются в бункер 13, который находится на валу 15, вращающемся в опорах 14. В неподвижном кулачке 10 выполнена канавка, в которой перемещаются ролики 11, соединенные с ползуном 9. Ползун соединен с трубками 12, соосными с трубчатыми направляющими 8. В ходе вращения вала 15 трубки 12

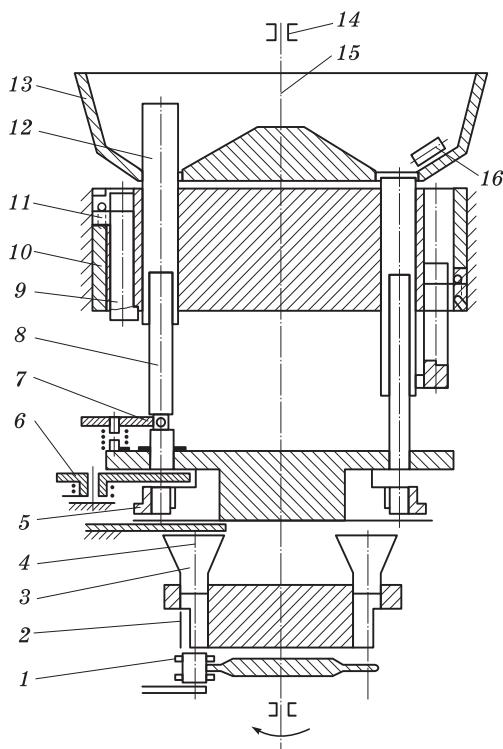


Рис. 4.31. Роторное загрузочное устройство

поднимаются вверх, захватывают деталь *16* и направляют ее в направляющую *8*. Далее рычаг *6* направляет деталь через отсекаль *7* к приемнику *5* и через трубу *4* с раструбом — к гравитационному ориентирующему устройству *3*. Оттуда с помощью поддерживающего устройства *2* деталь передается на цепной транспортер *1* роторной линии и далее к технологическому ротору.

#### 4.3.4. Дополнительные бункеры и ворошители

Характерным показателем каждого бункера является его вместительность (емкость). Чем больше вместительность, тем меньше времени требуется для его обслуживания, так как промежутки времени между загрузками становятся больше. Но увеличение емкости бункера связано с увеличением размеров как самого бункера, так и захватного органа, а следовательно, и с повышением стоимости всего устройства. Поэтому для увеличения вместительности бункеров без одновременного увеличения размеров других целевых органов применяются так называемые *двойные бункеры*, состоящие из основного и дополнительного бункеров.

Основные типы *дополнительных бункеров* показаны на рис. 4.32. В этом качестве могут служить как специально удлиненные и отгороженные участки основных бункеров (рис. 4.32, *а*), так и специальные бункеры, выполненные в виде отдельных емкостей (рис. 4.32, *б...д*).

В зависимости от способа выдачи деталей в основной бункер дополнительные бункеры можно разделять на самотечные и приводные. Из *самотечных бункеров* детали подаются в основной бункер самотеком по мере разгрузки последнего (рис. 4.32, *б, в*). *Приводные бункеры* выполняются обычно в виде самостоятельных механизмов с отдельным приводом, обеспечивающим более надежную и равномерную выдачу деталей в основной бункер. Такие бункеры чаще всего представляют собой вместительные емкости с наклонным вибрирующим дном и регулируемой заслонкой (рис. 4.32, *г*) или специальные транспортеры (рис. 4.32, *д*). Во всех случаях приводные бункеры регулируются так, что среднее количество деталей, выдаваемых ими в единицу времени, равно производительности рабочей машины или несколько больше ее.

В процессе работы бункерных ориентирующих устройств случается, что детали образуют в бункере скопления в виде сводов или заторов, в результате чего условия захвата ухудшаются, и выдача деталей из бункера уменьшается или даже полностью прекращается. Одновременно ухудшаются и условия автоматического ориентирования. Для разрушения образующихся сводов деталей служат *ворошители*.

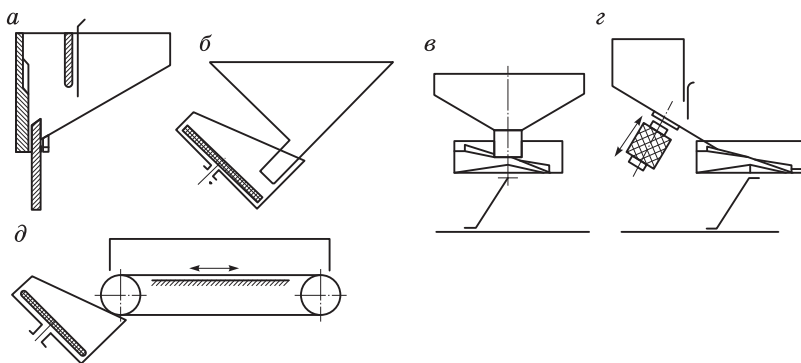


Рис. 4.32. Основные типы дополнительных бункеров

Чаще всего функции ворошителей выполняют сами захватные органы, особенно, если их форма способствует перемешиванию деталей. Если же захватные органы имеют гладкие поверхности и не обеспечивают достаточно интенсивного перемешивания деталей, то дополнительно применяются специальные ворошители. Они имеют вид выступов, прикрепляемых к гладким движущимся поверхностям захватных органов. Расположение, размеры и количество этих выступов должны быть такими, чтобы они, во-первых, не приводили к заклиниванию деталей и, во-вторых, обеспечивали достаточное, но не очень интенсивное их ворошение.

#### 4.3.5. Транспортирующие лотки

Одной из основных функций каждого автоматического ориентирующего устройства является транспортирование деталей. В бункерных ориентирующих устройствах транспортирующими считаются органы, которые служат специально для транспортирования деталей, т.е. для перемещения их от одной ориентирующей позиции к другой и от бункера к накопителю. Такими органами являются **лотки**.

Лотки могут транспортировать детали в любом виде — в ориентированном или неориентированном. Но так как их начинают использовать после первой ориентирующей позиции, когда детали уже частично или полностью ориентированы, лотки служат главным образом для транспортирования ориентированных деталей.

В крючковых бункерных устройствах, в которых лоток не является естественным продолжением захватного органа, необходимо перед транспортированием обеспечить прием деталей лотком. Это достигается при помощи соответствующей конструкции лотка, которая включает две части: приемную и транспортирующую.

Приемная часть лотка должна быть выполнена так, чтобы детали, выходящие из бункера, могли двигаться дальше без потери ориентации и скорости.

В зависимости от формы деталей и принципа действия захватного и транспортирующего органов приемная часть лотка может более или менее отличаться от транспортирующей. Это отличие исчезает только в тех случаях, когда лоток является естественным продолжением захватного органа. В общем случае форма приемной части лотка обуславливается траекторией свободного движения деталей, выходящих из захватного органа. Форма приемной части считается правильной, если ее продольный профиль соответствует траектории движения деталей.

Классифицировать лотки можно по следующим основным признакам:

- характер силы, под действием которой происходит движение деталей в лотке (принцип действия);
- характер движения деталей в лотке;
- форма поперечного и продольного сечения лотка;
- конструктивные особенности лотка.

По *принципу действия* существующие конструкции лотков можно разделить на четыре основные группы:

- 1) гравитационные, в которых детали движутся под действием силы тяжести (рис. 4.33, а);
- 2) инерционные, в которых детали движутся под действием сил инерции (рис. 4.33, б);
- 3) фрикционные, в которых детали движутся под действием силы трения (рис. 4.33, в);
- 4) механические, в которых движение деталей осуществляется принудительно под действием механизма (рис. 4.33, г, д).

Гравитационные лотки отличаются простотой, поскольку движение деталей в них происходит без помощи дополнительных источников энергии. Но такие лотки имеют значительные недостатки, поскольку, во-первых, движение деталей в них возможно только сверху вниз при наклоне лотка, превышающем

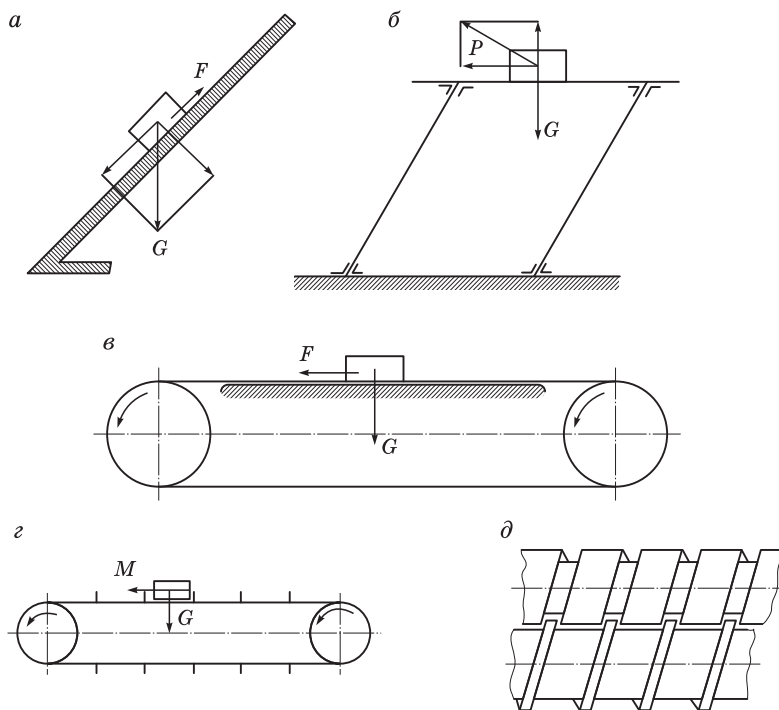


Рис. 4.33. Лотки с различным принципом действия:  
 а — гравитационный; б — инерционный; в — фрикционный;  
 г, д — механические

угол трения, и, во-вторых, возможности регулирования скорости движения деталей ограничены. Указанные недостатки отсутствуют в инерционных и фрикционных лотках.

По характеру движения деталей гравитационные лотки можно подразделить на лотки-склизы, в которых детали перемещаются скольжением (рис. 4.34, а...ж); лотки-скаты, в которых детали катятся (рис. 4.34, з, и), и лотки-рольганги, в которых детали перемещаются по вращающимся роликам (рис. 4.34, к, л).

В зависимости от *формы поперечного сечения* лотки можно разделять на лотки с прямоугольным поперечным сечением (рис. 4.34, а, з, м), цилиндрические (рис. 4.34, в, г), угловые (рис. 4.34, б), однорельсовые (рис. 4.34, е, ж) и двухрельсовые (рис. 4.34, д).

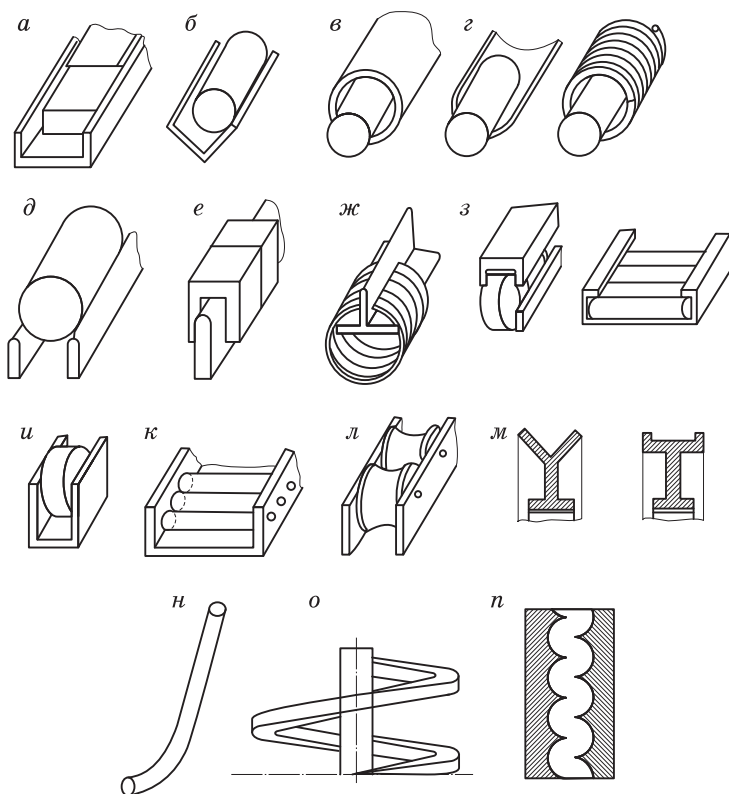


Рис. 4.34. Разновидности гравитационных лотков

В зависимости от *формы продольного профиля* лотки подразделяются на прямолинейные и криволинейные. В свою очередь, лотки криволинейные можно подразделять на изогнутые (рис. 4.34, *н*), винтовые (рис. 4.34, *о*) и синусоидальные или лотки-змейки (рис. 4.34, *п*).

Дальнейшая классификация лотков возможна по конструктивным признакам, свойственным отдельным группам лотков. Так, например, гравитационные цилиндрические лотки-склизы могут быть жесткими и гибкими (рис. 4.34, *г*); лотки-транспортёры могут быть ленточными и цепными и т.д. Выделяют также лотки, на которых детали для уменьшения трения поддерживаются струей сжатого воздуха на воздушной подушке (рис. 4.35).

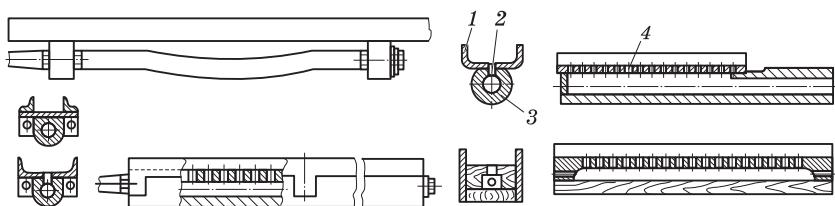


Рис. 4.35. Лотки на воздушной подушке:

1 — боковые стенки; 2 — система отверстий; 3 — подвод воздуха;  
4 — основание

Лотки позволяют не только транспортировать детали в ориентированном положении к сборочным рабочим местам, но и изменять их пространственное положение (примеры см. на рис. 4.36).

Кроме транспортирования лотки могут одновременно выполнять и функции других органов. Так, например, в вибрационных ориентирующих устройствах лотки служат также захватными органами и органами для первичной ориентации деталей. Кроме того, почти во всех типах бункерных ориентирующих устройств лотки одновременно выполняют функции накопителей ориентированных деталей.

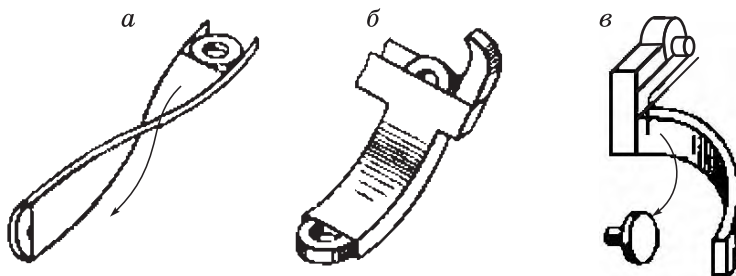


Рис. 4.36. Переходные участки лотков для переориентации заготовки:  
а — из положения скольжения в положение качения; б — из положения качения в положение скольжения; в — поворот несимметричных заготовок на  $180^\circ$  в вертикальной плоскости



## 4.3.6. Магазины и подающие устройства

Детали могут направляться к позициям сборки непосредственно либо через **операционные магазины** (рис. 4.37). К рабочим органам сборочных устройств детали направляются по одиночке с помощью специальных подающих устройств.

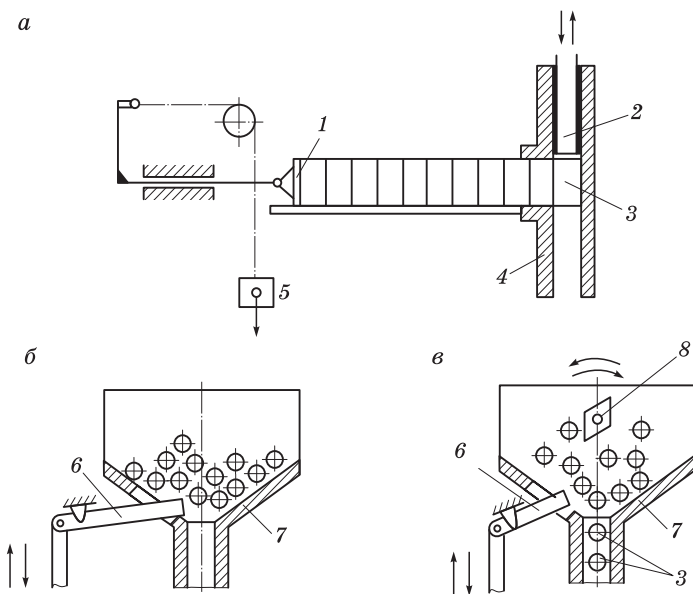


Рис. 4.37. Схемы магазинов:

а — ползунковый; б, в — трубчатые; 1 — ползун; 2 — отсекающий механизм; 3 — деталь; 4 — направляющая; 5 — груз; 6 — предохранитель от заклинивания; 7 — бункер; 8 — ворошитель

Для отделения одиночных деталей от потока используются различные **отсекатели**, которые одновременно являются подающими устройствами либо непосредственно связаны с ними. Примеры механических отсекающих устройств показаны на рис. 4.38. Кроме механических могут использоваться также магнитные, вакуумные, вибрационные, пневматические и другие отсекающие устройства.

В автоматизированных сборочных модулях **подающие устройства** передают детали из магазина к рабочим позициям. В зависимости от характера движения рабочих органов подающих устройств

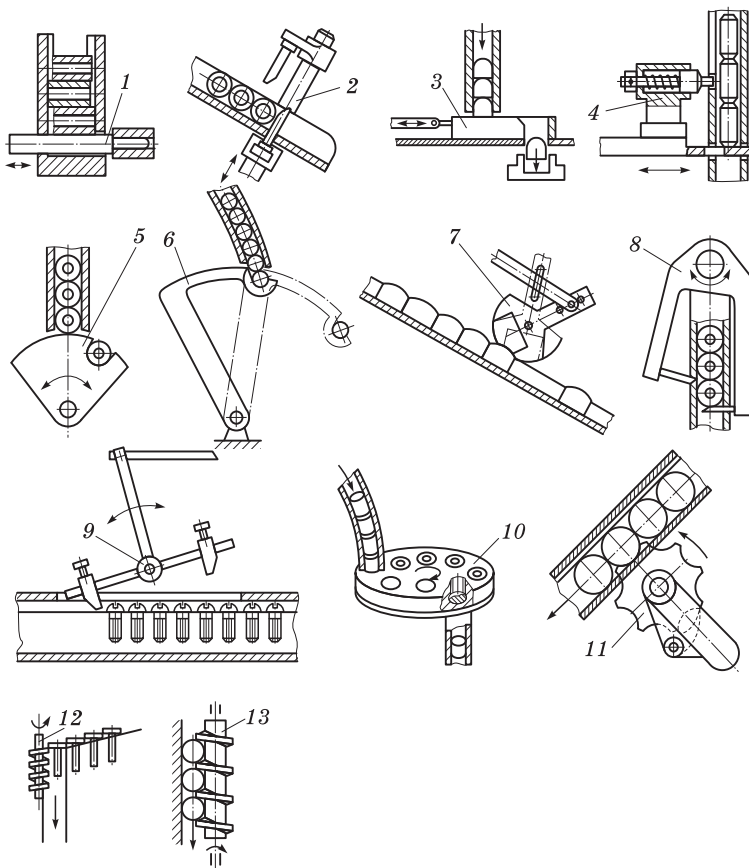


Рис. 4.38. Отсекатели с различными рабочими органами:

1 — в виде горизонтального толкателя; 2 — ползуна с двумя опорами; 3 — ползуна с возвратно-поступательным движением; 4 — ползуна с заслонкой и прижимом; 5, 6 — качающихся секторов; 7...9 — качающихся губок; 10 — вращающегося диска; 11 — вращающейся звездочки; 12, 13 — червяков

устройств их можно разделить на вращающиеся, ползунковые, гнездовые и смешанные. Для подачи деталей используются также манипуляторы и промышленные роботы.

На рис. 4.39 показаны схема и принцип работы гнездового подающего устройства, а также некоторые виды гнезд таких устройств. Движение к подающему устройству передается от вала привода сборочной машины через пары зубчатых колес 12,

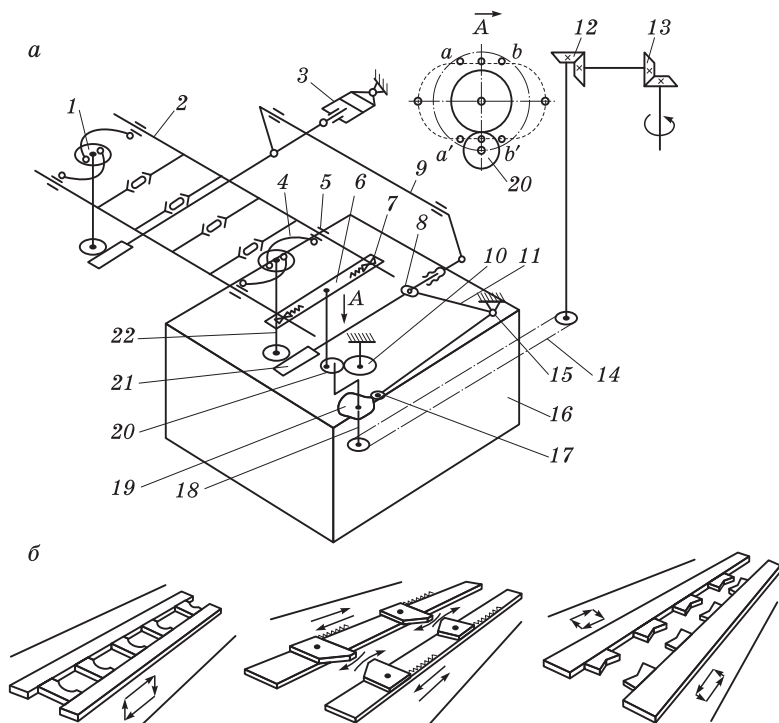


Рис. 4.39. Гнездовое подающее устройство:  
 а — кинематическая схема; б — некоторые виды гнезд

13, ременную передачу 14, вал 18 и зубчатый сателлит 20, обогачивающий неподвижное колесо 10. Эксцентрическая ось сателлита 20 соединена шарнирно с палетой 6, перемещающейся по направляющим скольжения. Ползушки 2 соединены с палетой пружинными прихватами 7, расходящимися в случае заклинивания. Ползушки получают линейное движение в ходе перемещения сателлита по участкам траектории  $aa'$  и  $bb'$ .

Устройство работает следующим образом. На приводном валу 18 находится кулачок 19, взаимодействующий с роликом 17 рычага 11, сидящего на оси 15 корпуса 16. На другом конце рычага в гнезде находится шкворень 8, прикрепленный к рейке 21. Пневмоцилиндр 3 обеспечивает постоянный стык ролика 17 с кулачком 19. В ходе вращения кулачка рычаг передает возвратно-поступательное движение рейке 21, которая поворачивает

вал 22 на  $180^\circ$ . Тяги 4 соединены с диском 1 и ползунами 5 и сближают или разделяют ползушки с гнездами. Движения к рейке 21 и к другой рейке, работающей синхронно с первой, передается от вала 9.

Схемы подающих устройств, используемых в автоматизированных сборочных системах, приведены на рис. 4.40. Наиболее широкое распространение получили толкающие устройства с возвратно-поступательным движением ползуна, подающего деталь. В сегментных устройствах детали размещаются в гнездах качающегося сегмента. Вращающиеся устройства имеют гнезда по периметру вращающегося диска, а манипуляторы перемещают деталь по сложной траектории.

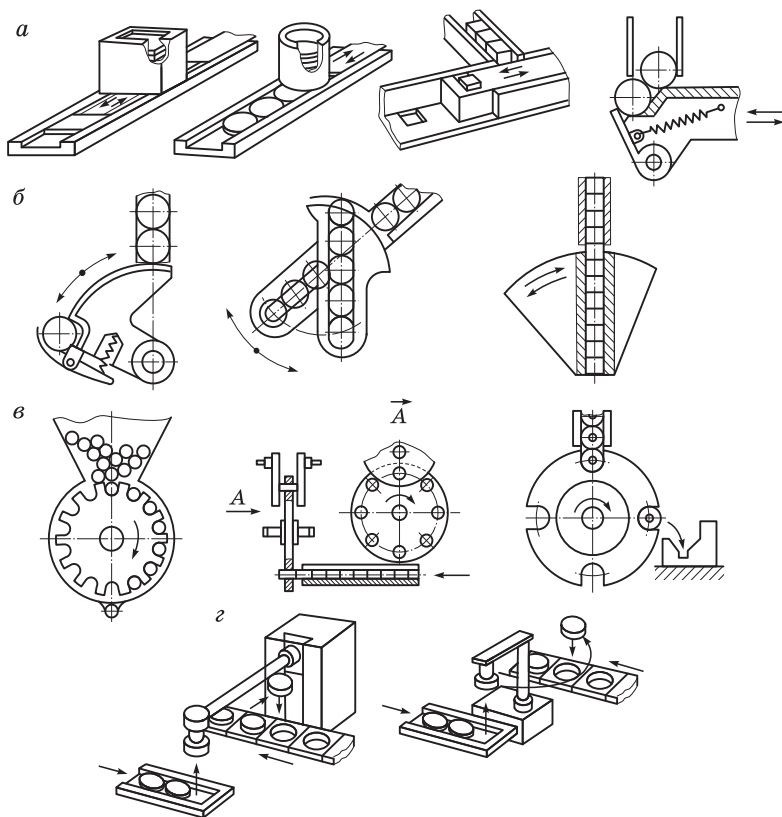


Рис. 4.40. Схемы подающих устройств:

а — толкающих; б — сегментных; в — вращающихся; г — манипуляторов

#### 4.4. Требования к технологичности конструкции изделий при автоматической сборке

Оценка технологичности изделия или сборочной единицы позволяет оценить возможность внедрения автоматической сборки.

В соответствии с ГОСТ 14.201—83 оценка технологичности конструкции изделия бывает двух видов: качественная («хорошо — плохо», «допустимо — недопустимо») и количественная — по основным и дополнительным показателям технологичности. К основным показателям технологичности относятся уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления и по технологической себестоимости. Дополнительные показатели технологичности позволяют оценить:

- уровень стандартизации и унификации изделия (коэффициенты стандартизации, унификации и повторяемости);
- надежность выполнения изделиями установленных для них функций при минимальном числе составных частей;
- возможность рационального расчленения изделия на составные части (коэффициент сборности);
- соблюдение принципа взаимозаменяемости, а также устранение пригоночных и доводочных работ (коэффициент взаимозаменяемости);
- надежность установочных баз и соблюдение принципа совмещения сборочной, установочной и измерительной баз;
- возможность автоматизации сборочных работ (коэффициент автоматизации) и т.п.

Пределы изменения всех частных дополнительных показателей одинаковы:  $0 < K_i < 1$ . Для удобства оценки и сравнения конструкций комплексный показатель технологичности  $K_{\Sigma}$  удобно выражать как среднее арифметическое с учетом экономической эквивалентности («весового» вклада) дополнительных показателей:

$$K_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i K_{iэ}}{\sum_{i=1}^n K_{iэ}} = \frac{K_1 K_{1э} + K_2 K_{2э} + \dots + K_n K_{nэ}}{K_{1э} + K_{2э} + \dots + K_{nэ}},$$

где  $K_i$  — частный дополнительный показатель технологичности;  $K_{iэ}$  — коэффициент экономической эквивалентности частного дополнительного показателя  $K_i$ .

В качестве примера в табл. 4.3 приведены частные дополнительные показатели  $K_i$  и коэффициенты их экономической эквивалентности  $K_{iэ}$  для условий автоматической сборки, принятых в автотракторной промышленности.

По значению коэффициента автоматизации можно судить об уровне автоматизации сборки изделия и его составных частей. Значения  $0 < K_i < 0,45$  соответствуют низкой,  $0,45 < K_i < 0,6$  — средней,  $K_i > 0,6$  — высокой степени автоматизации.

Таблица 4.3

**Частные показатели технологичности изделия для условий автоматизированной сборки**

Показатель	Расчетная формула	Значение $K_{iэ}$	Примечание
Число деталей	$K_{ч.д}$	0,97	—
Сборность конструкции	$K_{сб} = \frac{E}{E + D}$	0,73	$E$ — число сборочных единиц; $D$ — число деталей, не вошедших в сборочные единицы
Уровень автоматизации	$K_{авт} = \frac{N_{авт}}{N}$	1	$N_{авт}$ — число соединений, выполняемых автоматически; $N$ — общее число соединений
Повторяемость деталей и узлов	$K_{пов} = 1 - \frac{Q_{авт}}{N_{авт}}$	0,8	$Q_{авт}$ — число наименований соединений, выполняемых автоматически
Уровень унификации	$K_{ун} = \frac{N_{ун.авт}}{N_{авт}}$	0,82	$N_{ун.авт}$ — число соединений, выполняемых на типовом сборочном оборудовании

Окончание табл. 4.3

Показатель	Расчетная формула	Значение $K_{i\alpha}$	Примечание
Число направлений сборочных движений	$K_V = \frac{1}{\sum_{i=1}^n V_i}$	0,75	$\sum_{i=1}^n V_i$ — число направлений сборочных движений
Число установочных баз	$K_{y.б} = 1 / mn_б$	0,8	$m = 1$ при одинаковых установочных базах; $m = 1,15$ при подобных установочных базах; $m = 2,5$ при различных установочных базах; $n_б$ — число установочных баз
Взаимозаменяемость	$K_{вз} = 1 - \frac{N_{гр.авт}}{N_{авт}}$	0,73	$N_{гр.авт}$ — число соединений, выполняемых автоматически методом групповой взаимозаменяемости

Примечания: 1.  $K_{ч.д}$  устанавливается в зависимости от числа сборочных позиций (см. табл. 4.4).

2. Значения коэффициентов  $K_{пов}$ ,  $K_{ун}$  и  $K_{вз}$  отличаются от приведенных в ГОСТ 14.201—83 и 14.205—83 для условий ручной сборки.

В условиях автоматизированной сборки изделие должно иметь простую компоновку с минимальным количеством составных частей. При большом числе деталей сборочная линия получается сложной, с чрезмерным количеством позиций и малонадежной в работе (табл. 4.4).

Выполнение пригоночных работ в условиях автоматизированной сборки недопустимо. Проведение регулировочных работ, разборок и повторных сборок требует ручных операций и снижает уровень автоматизации сборки. Соединения, выполняемые методом групповой взаимозаменяемости, требуют увеличения капитальных затрат на 10...15 %, так как в этом случае

Таблица 4.4

**Показатели надежности сборочных автоматических линий**

Число сборочных позиций	$K_{ч.д}$	Надежность
2...8	1,0...0,9	0,95...0,87
9...16	0,85...0,8	0,87...0,78
17...24	0,70	0,77...0,69
25...32	0,65	0,69...0,61
33...40	0,55	0,60...0,54
41...48	0,50	0,54...0,48
49...56	0,45	0,47...0,42

необходим 100% -й контроль сопрягаемых поверхностей собираемых деталей. Для этого сборочные линии необходимо оснастить контрольными автоматами, а позиции — дополнительными загрузочно-ориентирующими устройствами и подающими устройствами с системой адресования.

В условиях использования бункерных ориентирующих устройств необходимо применять достаточно прочные и несцепляемые детали. Их форма должна быть по возможности симметричной, что упрощает ориентирование. Сложные по конфигурации детали должны иметь явно выраженные базовые поверхности и места для надежного ориентирования в транспортных устройствах, а также для установки и фиксации на сборочных позициях (рис. 4.41, а).

Если деталь имеет оси симметрии и асимметрично расположенные конструктивные элементы (отверстия, выступы, канавки и др.), то для облегчения ее ориентации следует придать ей полную симметричность за счет введения дополнительных «ложных» симметричных конструктивных элементов (рис. 4.41, б...д). Асимметричность деталей должна быть резко выражена (рис. 4.41, е), при этом асимметричность по наружному контуру предпочтительнее, чем по внутреннему. Ориентация асимметричных деталей улучшается по мере удаления центра тяжести детали от ее условного геометрического центра.



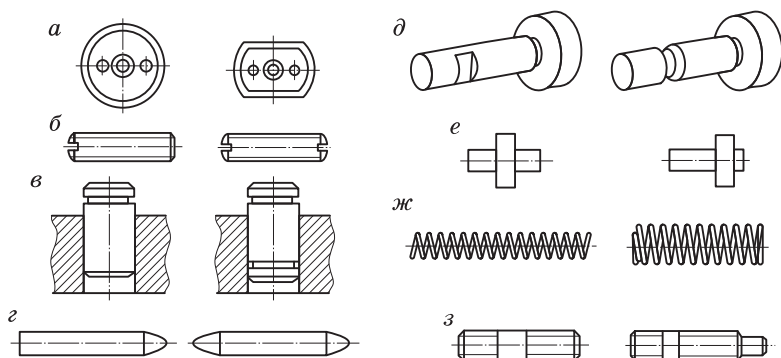


Рис. 4.41. Нетехнологичные (слева) и технологичные (справа) конструкции деталей

В ряде случаев для улучшения ориентации целесообразно вводить дополнительные конструктивные элементы (выступы, пазы и др.). Для предотвращения сцепляемости деталей в бункерах необходимо, чтобы ширина паза у пружинных шайб, замковых и поршневых колец не превышала их толщины или чтобы паз был выполнен ступенчатым либо со скосами. У пружин во избежание их сцепления торцы следует заправлять и шлифовать. Целесообразно, чтобы шаг навивки был меньше двух толщин проволоки или чтобы пружина имела плотную навивку у торцов и в средней части (рис. 4.41, ж). Конечные витки пружин сжатия должны располагаться параллельно друг другу.

Болты, винты, заклепки и другие детали, имеющие стержень с головкой, легко ориентировать, если их длина на 10...25 % превышает диаметр стержня. Упрощения ориентации шпилек можно достигнуть с помощью цилиндрического выступа (рис. 4.41, з).

## 4.5. Автоматизация соединения деталей

По признаку сохранения целостности при сборке соединения деталей подразделяются на разъемные и неразъемные, а по возможности перемещения соединяемых частей — на подвижные и неподвижные. Разъемные соединения составляют в современных машинах и механизмах 65...85 % от всего их количества. В общем машиностроении частоту использования различных видов соединений можно описать соотношением 0,45:0,35:0,15:0,05 (рис. 4.42).

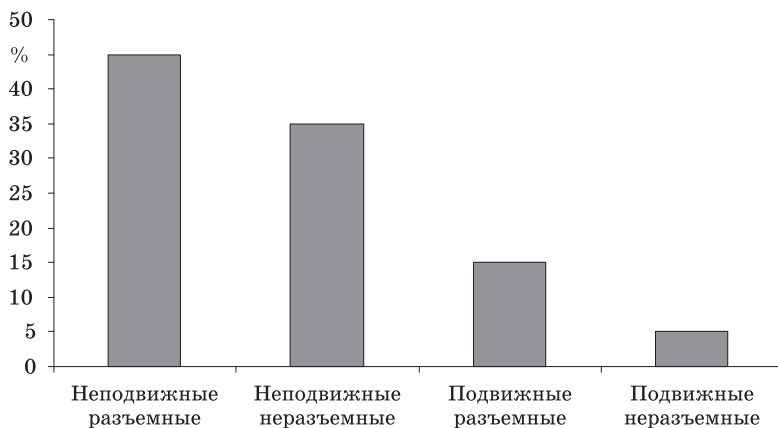


Рис. 4.42. Частота использования видов соединений

В конструкциях различных машин широко используются шпоночные, шлицевые, гладкие и другие разъемные соединения, но наиболее распространенным их видом являются резьбовые. Они используются практически во всех изделиях, изготавливаемых в машиностроении, судостроении, автомобилестроении и иных областях промышленности.

Соотношение трудоемкости различных видов сборочных соединений представлено на рис. 4.43.

**Резьбовые соединения** в конструкциях машин составляют 15...25 % от общего числа соединений, поскольку они отличаются простотой, надежностью, а также возможностью разборки



Рис. 4.43. Трудоемкость сборки различных видов соединений (%)

и повторной сборки без замены деталей. Трудоемкость сборки резьбовых соединений (болтовых, винтовых, шпилечных) составляет 25...35 % от общей трудоемкости сборочных работ.

Процесс сборки резьбовых соединений состоит из следующих этапов:

- 1) соединение (наживление) резьбовых деталей на 2...3 нитки;
- 2) свинчивание деталей;
- 3) затяжка;
- 4) стопорение для предохранения от самоотвинчивания.

При автоматизированной сборке первые три этапа выполняются последовательно одним инструментом (гайковертом, винтовертом, шпильковертом). При механизированной сборке первый этап — наживление — выполняется вручную.

Для удобства *наживления* на торцах резьбовых поверхностей выполняют фаски под углом  $45^\circ$  (рис. 4.44). При автоматическом наживлении условия собираемости улучшаются из-за вращательного движения присоединяемой детали, а также пониженной жесткости патрона и насадки резьбозавертывающего механизма. Упругие отжатия  $\Delta$  можно увеличить, изменяя длину насадки или встраивая специальные компенсирующие устройства, например крестовую муфту.

Для выполнения процесса наживления помимо вращательного движения необходимо создать осевую силу для прижатия резьбовой детали к резьбовому отверстию.

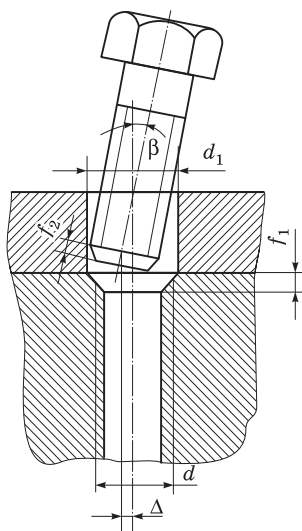


Рис. 4.44. Схема к расчету погрешностей сборки резьбового соединения

Соединение резьбовых деталей производится *свинчиванием*. Сопрягаемые детали (винты и гайки), входящие в резьбовое соединение, могут иметь различную форму и размеры. Применение автоматизированной сборки резьбовых соединений предъявляет ряд жестких требований к деталям, входящим в резьбовое соединение, а также к оборудованию, которое используют для соединения резьбовых пар.

При нарушении технологии свинчивания соединяемых деталей может возникать срыв резьбы. К нему приводят:

- неточное изготовление элементов резьбы;
- неправильная ориентация собираемых деталей перед началом свинчивания;
- нарушение технологических условий свинчивания.

На рис. 4.45 показана схема автоматической сборки с относительной ориентацией двух собираемых резьбовых деталей. Собираемая деталь — гайка 3 — центрируется на сборочной позиции 4 подпружиненным пальцем 5. Винт 1 автоматически подается в отверстие втулки 2, которая ориентирует его. Ось отверстия ориентирующей втулки и ось центрирующего пальца

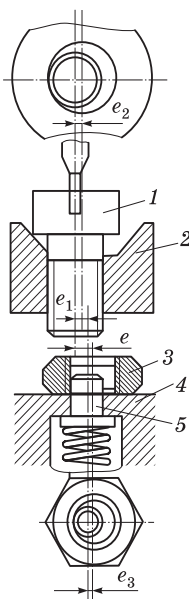


Рис. 4.45. Несоответствие осей при сборке двух резьбовых деталей

имеют некоторое смещение, определяемое допуском. Смещение осей двух собираемых резьбовых деталей является замыкающим звеном размерной цепи, характеризующим погрешность базирования:

$$e = e_1 + e_2 + e_3,$$

где  $e_1$  — смещение осей установочного пальца 5 для гайки и ориентирующей втулки 2 для винта;  $e_2$  — максимальное смещение оси винта 1 относительно оси отверстия ориентирующей втулки 2;  $e_3$  — максимальное смещение оси собираемой гайки относительно оси центрирующего пальца.

Максимально допустимое параллельное смещение осей двух собираемых резьбовых деталей, при котором возможно свинчивание, должно удовлетворять условию

$$e_1 + e_2 + e_3 \leq 0,325P,$$

где  $P$  — шаг резьбы собираемых деталей.

Это неравенство определяет возможность сборки резьбовых деталей без фасок на их торцах. При наличии фаски на торце хотя бы у одной из собираемых резьбовых деталей допустимое параллельное смещение осей резьбовых деталей равно

$$e_1 + e_2 + e_3 \leq c,$$

где  $c$  — ширина фаски.

Случай перекоса оси винта *1* относительно резьбового отверстия детали *2* показан на рис. 4.46. Если при перекосе виток винта попал в канавку резьбового отверстия через шаг, то в начале свинчивания произойдет заедание резьбы винта в отверстии. В условиях автоматизированной сборки при таком перекосе винта происходит срыв резьбы.

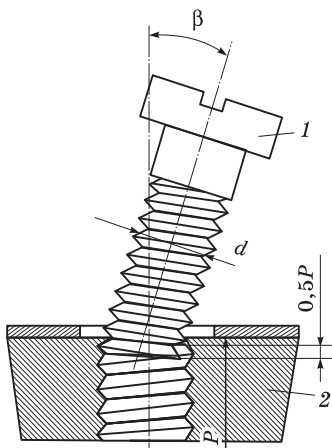


Рис. 4.46. Перекос осей при сборке двух резьбовых деталей

При относительной ориентации двух сопрягаемых деталей перед сборкой перекос осей винта и отверстия на угол больше  $\beta_{\max}$  недопустим. Для резьб М2...М10 можно принять  $\beta_{\max} = 0,5P/d$ , где  $d$  — диаметр резьбы.

Для обеспечения надежного свинчивания угол  $\beta$  должен быть меньше угла  $\beta_{\max}$ . Если угол  $\beta$  будет больше угла  $\beta_{\max}$ , то при свинчивании резьбовой пары наступит заедание и срыв резьбы.

В условиях автоматизированной сборки применяют различные способы автоматической относительной ориентации сопрягаемых резьбовых деталей. На рис. 4.47 показана ориентация винта с помощью разрезной направляющей втулки 1. После завинчивания винта на два-три оборота разрезная втулка автоматически раздвигается.

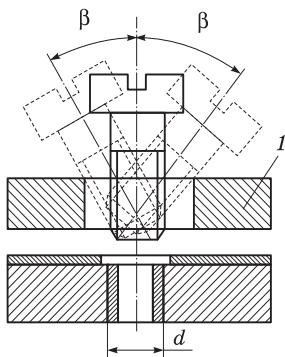


Рис. 4.47. Свинчивание резьбой пары с использованием направляющей втулки

Направляющая втулка должна иметь относительно больший диаметр отверстия и сравнительно небольшую высоту для более легкого западания винта в отверстие втулки. Минимальная допустимая длина направляющей части втулки при условии допустимого перекоса винта составляет

$$l_{\min} = \Delta d_{\min} / 0,5P,$$

где  $d_{\min}$  — наименьший наружный диаметр резьбы винта;  $\Delta$  — зазор между винтом и отверстием направляющей втулки. Для винтов МЗ...М8 принимают  $\Delta = 0,3...0,8$  мм.

Чтобы в начальный период свинчивания резьба винта надежно закрепилась в гайке, нижний конец винта должен выходить из втулки на величину  $3P + c$ , где  $c$  — высота фаски резьбы винта.

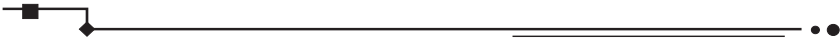
**Неразъемные соединения.** Соединения с натягом используются в условиях автоматизированной сборки в гораздо меньшей степени, чем резьбовые. Это связано с необходимостью использования для их выполнения более сложных механизмов — прессов

и нагревательных устройств. Нагрев осуществляется с использованием индукционных нагревательных устройств непосредственно на сборочной позиции перед выполнением соединения. Время нагрева до 300 °С составляет 10...12 с на каждый килограмм массы детали.

Еще в меньшей степени используются такие неразъемные соединения, как *заклепочные* и *паяные*.

При использовании *клеевых* соединений необходимо обеспечить точность взаимного расположения сопрягаемых поверхностей. Для этого деталям, присоединяемым к собираемому узлу, в процессе полимеризации клея придают вращательное движение относительно оси и возвратно-поступательное перемещение в плоскости, перпендикулярной оси.

## 4.6. Применение роботов на сборочных операциях



Промышленные роботы применяются для автоматизации операций на всех видах сборочных работ. При сборке для последующей механической обработки роботы применяются для подачи, ориентации, соединения деталей в один комплект, их взаимного закрепления, установки и снятия комплекта при обслуживании обрабатывающего оборудования. При узловой сборке роботы применяются для поиска и распознавания деталей, их транспортирования, ориентации, подачи на сборочную позицию, контроля размеров, а также правильности и качества соединения и закрепления деталей, для транспортирования и укладки, а если потребуется и упаковки собранного узла. Сборка под сварку может рассматриваться как операция узловой сборки и как операция, предваряющая механическую обработку. При общей окончательной сборке изделия роботы применяют для транспортирования, взаимной ориентации и установки узлов, иногда для их соединения, а также для транспортирования готовых изделий.



Независимо от метода сборки роботы используются для выполнения складских, транспортных операций, переноса, установки, ориентации сборочных единиц, их распознавания, контроля, отбраковки, а также для проверки качества соединения. Для выполнения основных операций роботы в основном используются при методе сборки с полной взаимозаменяемостью.

К основным операциям сборки, которые могут быть выполнены с помощью роботов, оснащенных соответствующими инструментами и приспособлениями, относятся:

- надеть — вставить;
- наложить — вложить;
- раздвинуть — развернуть;
- установить — снять;
- запрессовать;
- свинтить — развинтить;
- склеить;
- склепать;
- сжать — разжать;
- нанести;
- сварить;
- зачистить;
- ориентировать;
- измерить;
- залить.

При роботизированной сборке следует тщательно проверять детали и узлы на технологичность. Детали не должны быть загрязнены, иметь забоины, вмятины. Их конструкция должна быть такой, чтобы они не сцеплялись друг с другом при выходе из подающего устройства (магазина); в их конструкциях должны быть предусмотрены заборные фаски, конусы, проточки и т.д. Следует избегать соединений с деталями из легкодеформируемых, хрупких и не обеспечивающих сохранения определенной геометрической формы материалов. Перед поступлением на сборочную позицию необходимо проверять, соответствуют ли параметры детали техническим условиям.

Основные требования, предъявляемые к изделиям (сборочным единицам), подлежащим сборке на автоматизированном оборудовании с применением роботов:

- разделение на законченные взаимозаменяемые сборочные единицы, обеспечивающие возможность их сборки независимо друг от друга;

- возможность сборки с полной взаимозаменяемостью;
- минимальное число соединяемых поверхностей и видов соединений;
- доступность мест соединений сборочных единиц для контроля качества соединения (если таковой требуется);
- возможность последовательной сборки, характеризуемой наличием базовой детали, с которой последовательно сопрягаются присоединяемые детали;
- дополнительные обработка, пригонка и регулирование в процессе сборки не допускаются.

Тип и конфигурация базовой детали определяют конструкцию базирующего приспособления и схему базирования. Условия собираемости, выбор базовых поверхностей при захвате и монтаже присоединяемой детали, а также последовательность сборки зависят от пространственного расположения поверхностей сопряжения.

Основным признаком классификации типовых сборочных единиц и комплектов является деление их на комплекты типа вала (с охватыванием базовой детали) и корпуса (с охватывающей базовой деталью). В комплекте типа вала базовой деталью является вал или другая деталь этой группы, на которую устанавливают подшипники, зубчатые колеса, втулки, пружинные стопорные кольца, уплотнительные манжеты и т.д. В комплекте типа корпуса базовыми деталями являются корпус, фланец, стакан и т.д., в которые вкладывают присоединяемые детали. Указанные комплекты являются типовыми практически для всех изделий в машиностроении.

Наиболее широкое применение в сборочном производстве получили одношпиндельные и многошпиндельные гайковерты, вальцующие головки, поворотные многопозиционные столы, прессы, сварочные головки и т.д. Указанное оборудование, как правило, имеет настольное исполнение или выполнено в виде ручного механизированного инструмента. Это позволяет применять его как сменный инструмент, с помощью которого робот может осуществлять сборку при изменении конструкции собираемого узла. Промышленные роботы можно применять как подъемно-транспортное и загрузочное оборудование или в качестве основной технологической единицы. Сборочное оборудование может иметь вертикальное или горизонтальное исполнение. Приспособления, применяемые для закрепления базовой детали

при сборке, обычно идентичны приспособлениям, применяемым при механической обработке различных видов. По возможности следует применять универсальные кулачковые и цанговые патроны, оправки, призмы, центры и другие базирующие и фиксирующие устройства, обеспечивающие требуемую точность установки и закрепления.

Промышленные роботы в сборочных роботизированных комплексах должны обеспечивать всю совокупность перемещений, необходимых для нормального протекания сборки и зависящих от требований к участку, номенклатуры и программы выпуска собираемых изделий, частоты сменяемости изделий и габаритных размеров технологического оборудования.

Специфика сборки и необходимость компенсации погрешностей позиционирования, захвата и установки деталей выдвигают определенные требования к сборочным роботам. Они должны иметь:

- цилиндрическую прямоугольную систему координат основных движений, причем для сопряжения деталей требуется, как правило, их взаимное прямолинейное перемещение, однако не исключена возможность и более сложного движения, обеспечить которое должен исполнительный орган робота или сборочный инструмент;
- размеры рабочей зоны, достаточные для размещения вспомогательных устройств, приспособлений и оснастки, необходимых для сборки, магазинов с инструментами и захватными устройствами, подающих устройств и накопителей собираемых деталей, средств контроля качества сборки;
- не менее трех степеней подвижности, причем должна быть предусмотрена возможность получения дополнительных степеней (до восьми) путем увеличения дополнительных движений робота или сборочных инструментов;
- расширенные возможности стыковки с большим числом единиц, вспомогательного оборудования (тактовыми столами, конвейерами, устройствами поштучной выдачи и т. д.);
- устройство автоматической смены захватных устройств и инструментов, которые могут подключаться к силовой и измерительной пневматической или электрической сетям (для роботов, выполняющих последовательно несколько различных операций и переходов);

- скорости перемещений исполнительных узлов и кинематических звеньев, обеспечивающие наибольшую производительность выполнения основных и вспомогательных сборочных переходов;
- возможность перемещения исполнительного узла с требуемыми скоростями и усилием подачи режущего инструмента при необходимости выполнения в процессе сборки операций механической обработки (сверления, развертывания и др.) либо в этом случае сборочный комплекс должен быть укомплектован соответствующим обрабатывающим оборудованием, обслуживаемым роботом.

Рассмотрим некоторые примеры применения промышленных роботов на сборочных операциях. Роботизированный сборочный комплекс, представленный на рис 4.48, служит для выполнения винтового соединения полуформ для литья бетонных

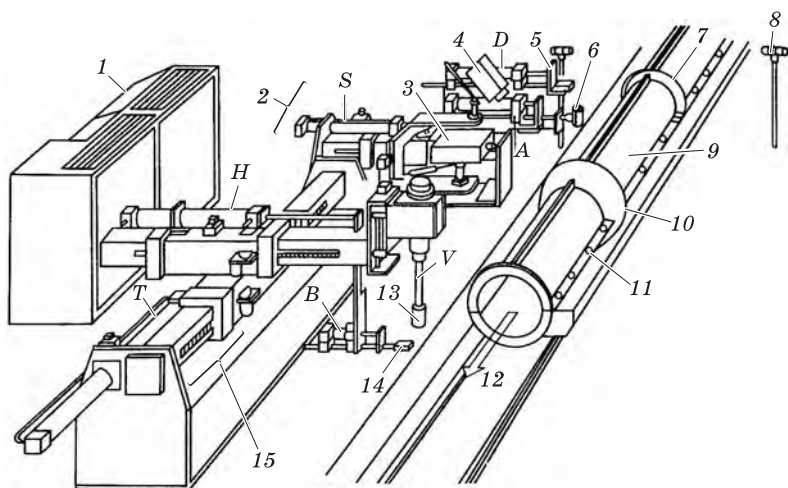


Рис. 4.48. Компоновка роботизированного сборочного комплекса для винтового соединения полуформ:

1 — система управления; 2 — система наблюдения; 3 — система обзора (телекамера); 4 — система освещения; 5 — система распознавания обручей; 6 — система измерения диаметра формы; 7 — ребро жесткости; 8 — фотоэлемент; 9 — форма; 10 — обруч; 11 — отверстия под винты; 12 — направление движения форм; 13 — автоматическая отвертка; 14 — датчики касания; 15 — робот с гидроприводом; A, B, D, H, S, T, V — оси перемещения рабочих органов роботов

столбов и включает два робота с гидравлическим приводом. Один из них используется для наблюдения за помехами при сборке (обручами и ребрами жесткости) и имеет три степени свободы ( $S$  — управление сервоприводом,  $A$ ,  $D$  — управление упорами). Другой робот используется непосредственно для вставки и закручивания винтов и имеет четыре степени свободы ( $T$ ,  $H$  — управление сервоприводами,  $V$ ,  $B$  — управление упорами).

Сборка осуществляется в ходе непрерывного перемещения формы на транспортере. При завинчивании винтов робот совершает синхронное параллельное перемещение вместе с формой, после чего возвращается в исходное положение.

Технологический процесс сборки включает следующие операции:

- 1) подача полуформ с обручами в рабочую зону и измерение их радиусов;
- 2) определение положения обручей и ребер жесткости с помощью сенсорной системы с датчиками касания и расчет координат отверстий под винты с помощью системы наблюдения;
- 3) запоминание координат обручей, ребер жесткости и отверстий;
- 4) определение положения элементов формы, находящихся в рабочей зоне, и закручивание винтов (с использованием датчиков касания);
- 5) предохранение роботов перед соударениями с окружающими предметами.

Пример роботизированного сборочного комплекса приведен также на рис. 4.49.

Роботизированная сборочная линия для сборки электродвигателей (рис. 4.50) имеет систему управления с сенсорными устройствами искусственного зрения, контролирующую роботов. В этом случае либо имеет место автоматическое управление работой линии, либо за работой наблюдает рабочий-оператор. Операторы также заполняют бункеры и склады, выполняют перепрограммирование роботов, обеспечивают техническое обслуживание и устранение неполадок.

В ходе предварительной сборки крышек работают роботы 3 и 6, имеющие телекамеры 4 и 5, с помощью которых выполняется контроль качества сборки и коррекция ориентации крышек. Более сложные элементы (реле, конденсаторы и т.п.) монтируются роботами 19 и 10, имеющими телекамеры 7 и 8.

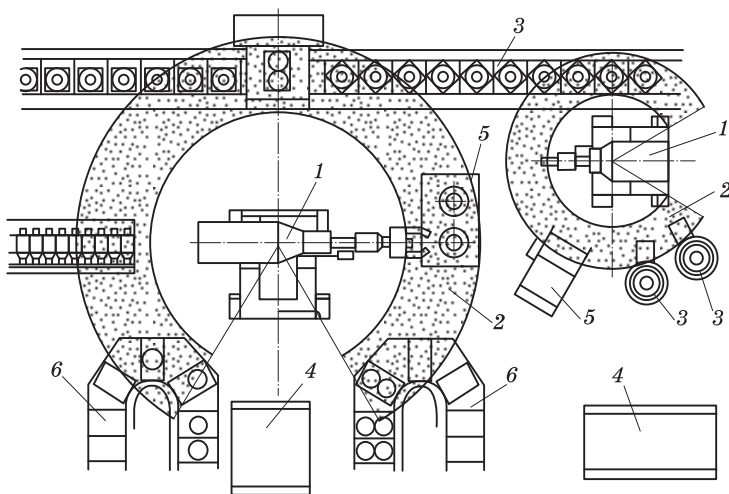


Рис. 4.49. Пример компоновки роботизированного сборочного модуля:  
1 — робот; 2 — рабочая зона робота; 3 — подающие устройства; 4 — роботы-кары; 5 — сборочные позиции; 6 — транспортеры

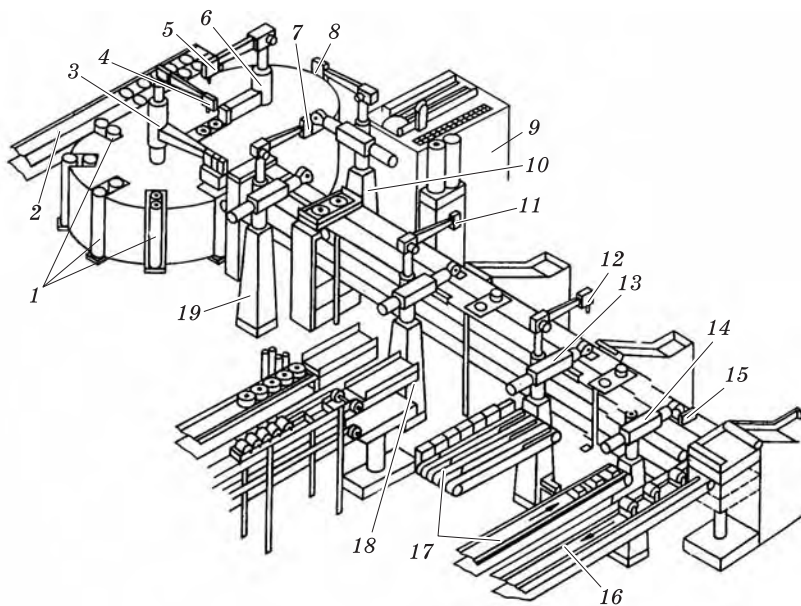


Рис. 4.50. Линия роботизированной сборки электродвигателей

Подачу подузлов для их схватывания роботами *3, 6, 19, 10* обеспечивают транспортеры *2* и *9* и магазины *1*. Далее сборка выполняется роботами *18* и *13* с телекамерами *11* и *12*, контролирующими качество сборки и правильность ориентации двигателя. Робот *13* имеет также датчик для контроля крутящего момента при завинчивании винтов. Робот *14* выполняет окончательные стадии сборки двигателя. При этом камера *15* обеспечивает соосность соединяемых подузлов. Собранные двигатели переносятся на транспортер *16*, а освободившиеся палеты — на транспортер возврата (на позицию монтажа крышек). Соединяемые детали подаются на позиции окончательной сборки с помощью транспортера *17*.



# 5

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

### 5.1. Особенности эксплуатации ГПС



Рациональная эксплуатация ГПС обеспечивается использованием автоматизированной системы управления, осуществляющей следующие функции:

- подготовка производства;
- управление производством;
- диспетчирование;
- распределение заготовок между станками;
- диагностирование технического состояния оборудования и инструментов;
- принятие мер по ликвидации возникающих отказов и др.

Важную роль в работе ГПС играют системы ЧПУ, управляющие станками, транспортно-накопительными устройствами и др. В частности, ЧПУ станков выполняют следующие функции:

- автоматическая компенсация погрешностей положения узлов станка;
- автоматическое регулирование режимов резания;
- измерение заготовок и обработанных деталей;



- технический контроль состояния и поломок инструмента;
- автоматическое измерение размеров и положения инструмента с последующей компенсацией положения его режущей кромки;
- автоматическое управление точностью обработки;
- автоматическое диагностирование технического состояния оборудования.

*Снабжение ГПС заготовками* имеет большое значение для рациональной организации ее работы. Запас заготовок должен быть таким, чтобы обеспечить максимальную загрузку оборудования, в том числе работающего в режиме «безлюдной технологии». Если деталь обрабатывается на нескольких станках, то остановка любого из них из-за отсутствия заготовок обуславливает остановку всех станков, размещенных за ним в последовательности технологического процесса. В то же время наличие заготовок в накопителях позволяет не прерывать производства деталей.

Запас заготовок в накопительной системе зависит от ряда организационно-технических причин, и прежде всего от надежности работы оборудования. Чем более надежны станки, тем меньше необходимые межоперационные запасы заготовок. При создании ГПС стремятся, чтобы фактическая производительность станков, выполняющих различные операции, была одинаковой во избежание простоев. В многономенклатурном производстве запас заготовок по количеству и числу наименований больше, чем в производстве с постоянной номенклатурой.

Хранение заготовок в ГПС обеспечивается на центральном складе заготовок и готовых деталей; на автономных складах около станков; одновременно и там, и там. Следует отметить, что наличие запаса заготовок непосредственно на участке приводит к увеличению незавершенного производства. Оптимальным является запас заготовок, обеспечивающий работу оборудования ГПС в течение 0,5...2 смен.

Наиболее рациональным следует считать такую организацию эксплуатации ГПС, когда заготовки после выполнения одной технологической операции сразу поступают на другую, а окончательно обработанные детали составляют сборочный комплект и поступают на сборку, минуя различные склады и накопители.

Наличие в ГПС системы оперативно-производственного планирования позволяет минимизировать запасы заготовок, что обеспечивает производство необходимой продукции в необходимое время и в необходимом количестве. При этом большое значение придается решению следующих задач:

1) контролю выпускаемой продукции, что обеспечивает учет дневных и месячных колебаний количества и номенклатуры выпускаемой продукции;

2) гарантированию качества выпускаемой продукции, которое предусматривает, что каждый предшествующий процесс обработки и сборки поставляет на последующие технологические операции продукцию только заданного качества;

3) обеспечению максимальной производительности труда.

**Организация обеспечения инструментом** предусматривает доставку к станкам комплекта режущего и вспомогательного инструмента при смене объекта производства.

Инструментальные магазины большинства станков с ЧПУ, входящих в состав ГПС, имеют ограниченную вместимость, поэтому запасы инструментов бывают недостаточными для последовательной обработки нескольких различных деталей.

Ограниченная вместимость инструментальных магазинов приводит к необходимости замены инструмента в процессе обработки группы деталей или особо сложной детали. В ГПС возможна замена как отдельных инструментов, так и инструментальных блоков (по мере их износа). Ручная замена инструмента в магазинах нерентабельна, так как приводит к простоям дорогостоящего оборудования, поэтому указанную операцию обычно осуществляют в автоматическом режиме.

Технические средства, реализующие автоматическое движение инструментального потока, выполняют следующие функции:

- хранение заданной номенклатуры и требуемого числа инструментов;
- транспортирование инструментов к станкам;
- подача инструмента в шпиндель.

Инструментальные потоки в ГПС могут быть централизованными, автономными и комбинированными.

**Централизованные** инструментальные потоки реализуются специальным конвейером инструментов (или конвейером заготовок, на котором предусмотрена тара под инструмент). При

снабжении из единого инструментального магазина могут возникать простои станков из-за ожидания инструмента, занятого в данный момент на другом станке. Для сокращения этих простоев используются инструменты-дублиеры, число, номенклатура и размещение которых определяют путем моделирования работы ГПС на ЭВМ.

При наличии *автономных* инструментальных магазинов на станках простои из-за ожидания инструмента практически отсутствуют, но зато увеличивается число одинаковых инструментов, эксплуатируемых в ГПС.

*Комбинированный* инструментальный поток включает в себя элементы как централизованного, так и автономного потоков.

Для выбора оптимального варианта инструментального потока в ГПС необходимо знать:

- время работы каждого инструмента и его стойкость;
- время простоев станков (в том числе из-за ожидания инструмента);
- материальные затраты на инструмент (его стоимость);
- технические средства доставки и хранения инструмента;
- время переналадки при переходе к обработке другой партии деталей и др.

*Общая потребность в инструменте* определяется количеством инструментов, необходимых для осуществления автоматического цикла обработки, смены изношенного и замены отказавшего инструмента.

Количество инструментов для обработки партии деталей определяется количеством различных инструментов, необходимых для пооперационной обработки каждой детали (причем каждый инструмент учитывается только один раз).

Количество инструментов, необходимых для замены изношенных и отказавших, определяется расчетным путем с учетом их стойкости, надежности и необходимого количества инструментов-дублиров. Чем шире номенклатура обрабатываемых в ГПС изделий и чем меньше число деталей в партии (т.е. чем больше гибкость производства), тем больше требуется инструментов и шире их номенклатура.

Опыт эксплуатации ГПС показывает, что к оборудованию необходимо подавать только заранее заточенный и настроенный на размер режущий инструмент, что требует значительных

затрат времени. В целях сокращения времени на подготовку производства обычно создаются специальные системы инструментального обеспечения. Такие системы предназначены для эффективного решения всех вопросов, связанных с работой режущих инструментов:

- 1) заблаговременная настройка инструментов вне станка;
- 2) проверка состояния устанавливаемых на станок инструментов и подготовка корректирующих команд для управляющих программ;
- 3) оперативное и наиболее выгодное перемещение инструментов;
- 4) повышение надежности информации об ожидаемом периоде стойкости инструментов, что снижает вероятность отказов;
- 5) рациональная организация оперативной смены инструментов;
- 6) заблаговременная подача команд на сборку, наладку и другую подготовку инструментов, что сокращает вынужденные простои;
- 7) учет и хранение инструментов.

Система инструментального обеспечения состоит из следующих основных элементов.

*Центральный инструментальный склад (ЦИС)* выполняет функции главного хранилища инструмента. Он же служит первым звеном в системе обслуживания предприятия инструментами. В ЦИСе хранятся только новые и пригодные для работы инструменты. Обычно их запасы составляют от 25 до 50 % годового расхода. Качество покупного инструмента подвергается проверке контрольно-проверочным пунктом (КПП) отдела технического контроля (ОТК) завода непосредственно на ЦИСе.

В соответствии с принятой классификацией инструмента ЦИС делится на секции, стеллажи, полки, ячейки. Ячейки обычно отводятся под отдельные типоразмеры инструмента.

Для обслуживания ГПС инструментами применяются:

- автоматические склады с клеточными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером (складским роботом);
- автоматические элеваторные склады;
- карусельные склады на основе подвешного и тележечного горизонтально-замкнутых конвейеров;
- карусельные склады на основе вертикально-замкнутого цепного и роторного накопителей.

Из ЦИСа инструменты в соответствии с их технологическим назначением передаются в *инструментально-раздаточные кладовые (ИРК)*, которые осуществляют:

- обеспечение ГПС режущим и вспомогательным инструментом;
- хранение минимальных запасов режущего и вспомогательного инструментов и технической документации;
- передачу затупленного режущего инструмента в отделение централизованной заточки инструмента;
- контроль режущего и вспомогательного инструмента (работниками центрально-измерительной лаборатории (ЦИЛ));
- учет и списание всех видов инструмента;
- передачу инструмента в ремонт.

ИРК связана с *отделениями заточки и ремонта инструментов*, которые принимают отказавший инструмент от ИРК, перетачивают (ремонтируют) его и возвращают восстановленные инструменты обратно.

*Участок подготовки инструмента* обеспечивает:

- получение из ИРК и хранение режущего, вспомогательного инструмента и технической документации;
- сборку режущего и вспомогательного инструмента, настройку его на размер;
- размещение настроенных комплектов инструмента в сменных магазинах;
- передачу настроенного инструмента в автоматическую транспортную систему инструментального обеспечения посредством робота-манипулятора;
- разборку отработанного инструмента, сортировку по видам и степени пригодности;
- передачу режущего инструмента и технической документации в ИРК.

При запуске новой партии деталей определяется потребное число инструментов для ее обработки, и на это число инструментов выдается документация, содержащая следующую информацию: дату подготовки инструмента, номер партии деталей, код комплекта инструмента, номер инструмента и его количество. При этом в зависимости от нахождения подготовленного инструмента в алгоритме функционирования системы инструментального обеспечения предусматриваются соответствующие коды. Например, 1 — инструмент находится в ИРК, 2 — инструмент выдан на станок, 3 — инструмент снят со станка и возвращен в ИРК.

В компьютер с пульта ввода данных, установленного в ИРК, вводится соответствующее сообщение, которое содержит: код комплекта инструмента, код местонахождения комплекта (склад инструментов, магазин инструментов, расположение в накопителе и т.п.), номер станка, на который выдан или с которого снят комплект. Если в сообщении код местонахождения инструмента 1 (при принятом нами коде), то компьютер формирует массив с кодом подготовленного инструмента; при коде 2 в массив добавляется номер станка, на который будет выдан комплект; при коде 3 из массива подготовленных комплектов удаляются код комплекта и номер станка.

Выходная информация о наличии и местонахождении подготовленного инструмента выводится на табло или дисплей по запросу оператора.

Взаимосвязи между элементами системы инструментального обеспечения (СИО) показаны на рис. 5.1.

Для комплексного материального обеспечения станков целесообразно одновременно с инструментом подавать на станки заготовки, оснастку и управляющие программы.

Для рациональной организации эксплуатации ГПС, состоящих из станков с ЧПУ, существенное значение имеет *автоматизация контрольно-измерительных и регулировочных операций*. Различают три вида автоматического контроля обрабатываемых деталей: до начала, во время и после обработки.

Контроль первого предусматривает обмер заготовок, так как заготовки с повышенным припуском могут вызвать поломки инструментов. Он направлен прежде всего на обеспечение бесперебойной работы оборудования.

Контроль второго вида предназначен для предотвращения брака в процессе обработки. По данным измерений выдаются команды на корректировку управляющей программы.

Контроль третьего вида предусмотрен для гарантии качества готовой продукции. В ряде случаев по данным послеоперационного контроля подаются команды на подналадку оборудования, которые используют при обработке последующих деталей партии.

Наиболее важным является контроль второго вида, поскольку он реализует большинство проверочных функций и позволяет в случае необходимости оперативно вмешиваться в процесс обработки.

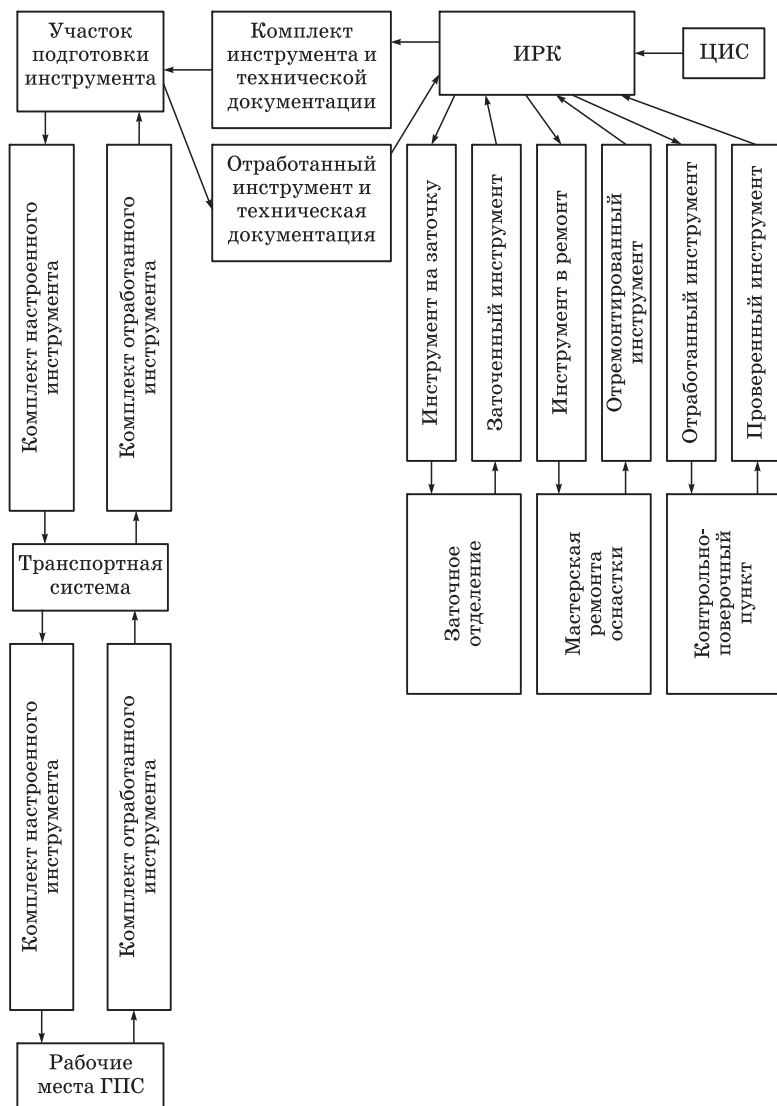


Рис. 5.1. Взаимосвязи между элементами СИО

Технические средства, применяемые для осуществления контроля заготовок и обработанных деталей, разнообразны. Процесс измерения может быть основан на использовании специальных

стационарных и переносных приспособлений с механическими, оптическими, электрическими, пневматическими, индуктивными и другими датчиками. Системы автоматического контроля на станке имеют обратную связь с системой ЧПУ и при необходимости позволяют вводить коррективы в программу обработки.

Ранее (см. 3.3) отмечалось, что наиболее эффективным направлением в *контроле режущих инструментов* является их мониторинг (непрерывный контроль). Все методы диагностики текущей работоспособности режущего инструмента можно условно разделить на четыре группы (табл. 5.1), которые, в свою очередь, можно поделить на методы прямого и косвенного контроля. Некоторые методы прямого и косвенного контроля были описаны в 3.3.

Таблица 5.1

**Классификация способов контроля состояния режущих инструментов**

Объект контроля	Контролируемый параметр
Режущий инструмент	Ширина площадки износа Вибрации Температура Остаточная радиоактивность Расстояние от вершины или режущей кромки до постоянной базы
Обрабатываемая деталь	Размеры Шероховатость обработанной поверхности Температура на поверхности
Стружка	Форма Направление схода Температура Радиоактивность
Процесс резания	Длительность цикла обработки Мощность резания Силы резания Вибрации Акустическая эмиссия ЭДС в зоне резания Электрическое сопротивление зоны контакта «инструмент — деталь»



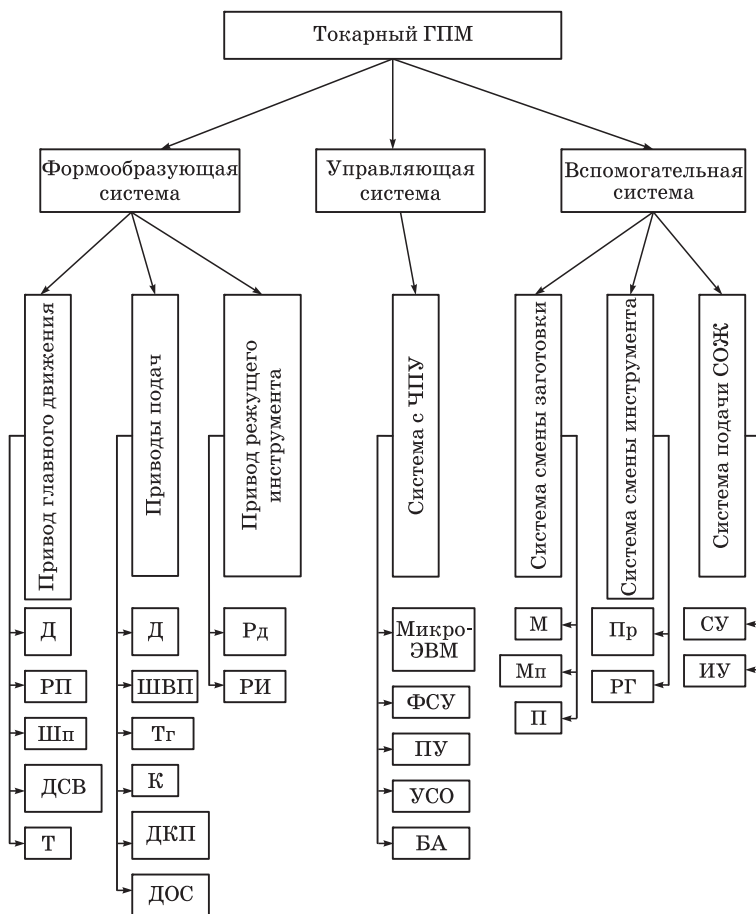


Рис. 5.2. Иерархическая структура токарного ГПМ:

Д — двигатель; РП — ременная передача; Шп — шпиндель; ДСВ — датчик скорости вращения; Т — тормоз; ШВП — шарико-винтовая пара; Тг — тахогенератор; К — каретка суппорта; ДКП — датчик крайнего положения; ДОС — датчик обратной связи; Рд — резцедержатель; РИ — режущий инструмент; ФСУ — фотосчитывающее устройство; ПУ — пульт управления; УСО — устройство связи с объектом; БА — блок автоматик; М — магазин; Мп — манипулятор; П — патрон; Пр — привод revolverной головки; РГ — revolverная головка; СУ — схема управления; ИУ — исполнительные устройства

Системы *диагностики правильности работы станка* связаны с системами ЧПУ. Они обеспечивают проверку наличия обратных связей между системами станка (например, отсутствие непрерывной информации о положении узла станка вызывает быстрое неконтролируемое перемещение стола), а также проверку взаимного положения узлов станка во времени и в пространстве (соответствует ли расположение узлов и последовательность их работы заданному циклу). При выполнении заданного цикла система контроля ожидает его окончания (сигнала о нахождении в требуемой позиции от соответствующего микровыключателя). Отсутствие сигнала вызывает реакцию системы. Если система управления не может скорректировать выявленное несоответствие, на мониторе системы ЧПУ появляется код ошибки либо текстовая информация о неисправности.

Для диагностирования оборудования ГПС разрабатывается его иерархическая структура. Пример такой структуры для токарного ГПМ показан на рис. 5.2.

Для наиболее быстрого определения причин отказа широко используется так называемое граф-дерево ошибок (рис. 5.3).

Для его построения необходимо составить перечень:

- основных элементов и узлов станка;
- действий, которые должны быть правильно выполнены;

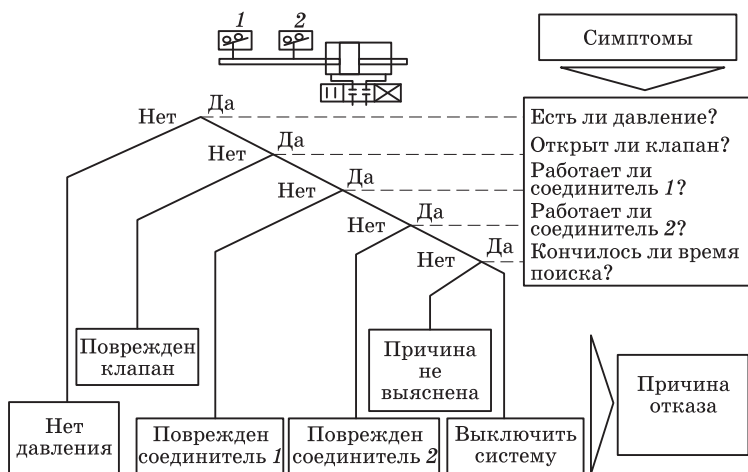


Рис. 5.3. Пример граф-дерева ошибок

- повреждений, в результате которых станок не может правильно выполнить то или иное действие;
- условий работы, вызывающих повреждение.

Повреждения и их причины рассматриваются как происшествия. Они могут быть записаны как узлы соответствующего графа, ветви которого описывают существующие причинно-следственные связи. На основе графа можно определить, какие причины вызвали наблюдаемую ошибку.

Принципы диагностики некоторых узлов и элементов станка описаны в 3.2.

## 5.2. Эффективность и организация работы ГПС

**Эффективность работы ГПС.** Рассмотрим структуру фонда времени и основные показатели эффективности использования станков с ЧПУ, составляющих основу современных ГПС. В качестве базы при расчете этих показателей можно использовать *номинальный фонд времени*  $\Phi_n$ , равный календарному фонду  $\Phi_k$  (годовой календарный фонд составляет 8760 ч) за вычетом выходных и праздничных дней, а также потерь из-за сокращения времени работы в предпраздничные дни (28,9 %  $\Phi_k$ ), потерь из-за работы только в две смены (20,78 %  $\Phi_k$ ) и перерывов на обед (2,97 %  $\Phi_k$ ).

При двухсменной работе оборудования суммарные потери времени, связанные с режимом работы, составляют свыше 53 %  $\Phi_k$ . Для ГПМ, обеспечивающих работу в три смены, эти потери сокращаются до 26 %  $\Phi_k$ .

Номинальный фонд времени обычно разбивается на четыре составляющие:

$$\Phi_n = \Phi_{\text{пар}} + \Phi_{\text{рем}} + \Phi_{\text{ппр}} + \Phi_{\text{пр}},$$

где  $\Phi_{\text{пар}}$  — суммарное время, затраченное на обработку всех партий деталей за данный период;  $\Phi_{\text{рем}}$  — суммарное время, затраченное на восстановление работоспособности при отказах

и сбоях оборудования;  $\Phi_{ппр}$  — нормативное время на проведение планово-предупредительных ремонтов;  $\Phi_{пр}$  — суммарное время простоев оборудования по организационным причинам.

Величина  $\Phi_{э} = \Phi_{пар} + \Phi_{рем} + \Phi_{пр}$  называется *эффективным фондом времени*.

Примерное соотношение между  $\Phi_{пар}$ ,  $\Phi_{рем}$  и  $\Phi_{пр}$  для станков с ручным управлением (РУ) и станков с ЧПУ, эксплуатируемых отдельно и в составе ГПС, показано на рис. 5.4. Рост величины  $\Phi_{рем}$  для станков с ЧПУ вызван значительным усложнением их конструкции и как следствие — понижением надежности этих станков по сравнению со станками с ручным управлением. Разделение причин простоев на технические и организационные, вполне оправданное для отдельно взятых станков, для ГПС в целом становится менее четким. Например, простой из-за поломки транспортной системы или предыдущего по технологической цепочке станка при анализе надежности данного станка будет

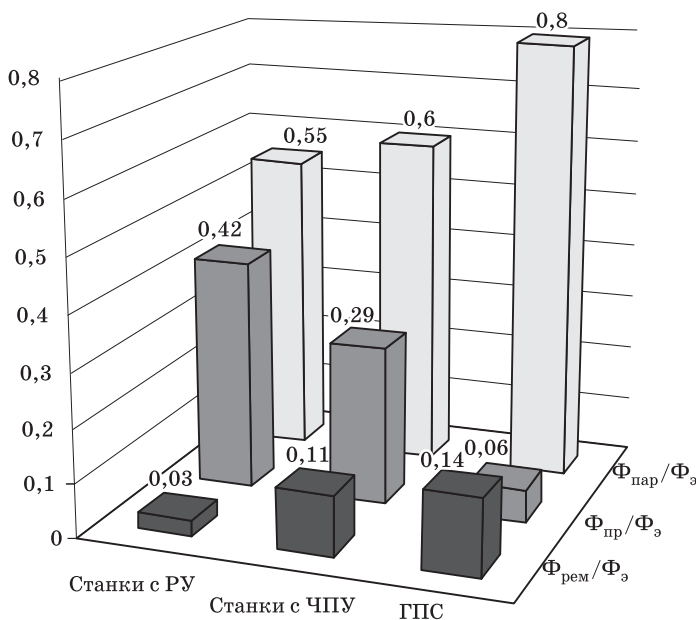


Рис. 5.4. Распределение эффективного фонда времени работы оборудования

рассматриваться как чисто организационный, а при анализе всей ГПС — как простой по технической причине. Поэтому в ГПС величина  $\Phi_{\text{рем}}$  несколько выше, чем для отдельных станков.

Наиболее комплексным показателем эффективности использования оборудования является *коэффициент использования по штучно-калькуляционному времени* (часто называемый просто коэффициентом использования):

$$K_{\text{шт.-к}} = \frac{\Phi_{\text{пар}}}{\Phi_{\text{о}}} \text{ или } K_{\text{шт.-к}} = \frac{\Phi_{\text{пар}}}{\Phi_{\text{н}}}.$$

Иногда применяется также *коэффициент использования по времени работы по управляющим программам*:

$$K_{\text{уп}} = \frac{\Phi_{\text{уп}}}{\Phi_{\text{о}}} \text{ или } K_{\text{уп}} = \frac{\Phi_{\text{уп}}}{\Phi_{\text{н}}},$$

где  $\Phi_{\text{уп}}$  — суммарное время работы по управляющим программам за исследуемый период.

В качестве комплексного показателя надежности работы оборудования применяется *коэффициент технического использования*, позволяющий оценить эффективность эксплуатации оборудования без учета простоев по организационным причинам:

$$K_{\text{ти}} = \frac{\Phi_{\text{пар}}}{\Phi_{\text{пар}} + \Phi_{\text{рем}} + \Phi_{\text{ппр}}}.$$

Каждая ГПС разрабатывается для нужд конкретного предприятия и является специализированной как по своему технологическому назначению, так и по решаемым производственным задачам. Например, в крупносерийном производстве ГПС в большинстве случаев обеспечивает возможность перехода на заранее неизвестные модификации изготавливаемой детали и сохранение работоспособности системы при выходе из строя одного из станков. В среднесерийном производстве ГПС обеспечивает уменьшение размеров партий запуска и комплектное изготовление деталей с целью сокращения объема незавершенного производства, в мелкосерийном производстве — снижение себестоимости и комплектное изготовление деталей. При этом предполагается, что остальные характеристики (производительность

в крупносерийном или гибкость номенклатуры в мелкосерийном производстве) должны быть не ниже (в крайнем случае не многим ниже) существующего уровня.

Производительность ГПС можно оценить по *показателям технического нормирования*.

Нормативное время  $T_{\text{пар}}$  на обработку партии деталей на станке с ЧПУ вычисляется по формуле

$$T_{\text{пар}} = T_{\text{п-з}} + nT_{\text{шт}},$$

где  $T_{\text{п-з}}$  — подготовительно-заключительное время на партию деталей;  $n$  — число деталей в партии;  $T_{\text{шт}}$  — штучное время обработки детали.

Подготовительно-заключительное время определяется следующим образом:

$$T_{\text{п-з}} = (1 + K_{\text{л}})(T_{\text{пер}} + T_{\text{орг}} + T_{\text{по}}),$$

где  $K_{\text{л}}$  — доля нормативного времени проведения работ (оперативного, на переналадку, на получение и сдачу деталей, пробной обработки первой детали, ее измерения и внесения изменений в процесс), добавляемая на отдых и личные надобности рабочего (для всех видов станков, кроме ГПМ,  $K_{\text{л}} = 0,04$ ; для ГПМ  $K_{\text{л}} = 0$ );  $T_{\text{пер}}$  — время на переналадку станка и технологической оснастки;  $T_{\text{орг}}$  — время на получение и сдачу деталей и технологической оснастки, ознакомление с документацией, инструктаж мастера;  $T_{\text{по}}$  — время пробной обработки первой детали, ее измерения и внесения в устройство ЧПУ коррекции для получения требуемых точности и качества обработки.

Штучное время обработки детали рассчитывается по формуле

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}}(1 + K_{\text{л}} + K_{\text{то}}),$$

где  $T_{\text{оп}}$  — оперативное время обработки детали,  $T_{\text{оп}} = T_{\text{уп}} + T_{\text{рв}}$ ;  $T_{\text{уп}}$  — время работы по управляющей программе,  $T_{\text{уп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}}$ ;  $T_{\text{рв}}$  — ручное вспомогательное время (на установку-снятие детали и проведение измерений, не совмещаемых с циклом обработки);  $K_{\text{то}}$  — доля  $T_{\text{оп}}$ , добавляемая на техническое и организационное обслуживание рабочего места (для обычных станков с ЧПУ в зависимости от типа станка  $K_{\text{то}} = 0,04 \dots 0,09$ ; для многоцелевых станков  $K_{\text{то}} = 0,12$ ; для ГПМ затраты на техническое и организационное обслуживание определяются в расчете не на

деталь, а на сутки работы);  $T_o$  — основное время работы (время резания);  $T_v$  — вспомогательное время (время автоматической смены и подвода инструмента, холостых ходов, а на роботизированных станках — также время установки-снятия детали).

По мере автоматизации вспомогательных работ  $T_{pv}$  переходит в  $T_v$ , а величина  $T_{оп}$  обычно несколько увеличивается за счет более медленной смены деталей роботом, проведения в автоматическом цикле измерений, совмещаемых рабочим с обработкой следующей детали, снижения режимов резания (т.е. увеличения  $T_o$ ) для обеспечения более надежной работы режущего инструмента. Однако эти потери существенно меньше выигрыша, получаемого за счет расширения зоны обслуживания (и соответственно повышения коэффициента сменности), а для ГПМ, обеспечивающих работу в режиме безлюдной технологии, — за счет использования третьей смены (продолжительность работы увеличивается при этом в 1,5 раза).

При автоматизированной подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ время  $T_{уп}$  вычисляется с высокой точностью, сопоставимой с точностью непосредственного хронометража. Точность определения подготовительно-заключительного времени  $T_{п-з}$  гораздо ниже, поскольку время переналадки  $T_{пер}$  зависит от последовательности выполнения работ. Кроме того, при высоких требованиях к точности и качеству обработки фактические затраты времени на пробную обработку  $T_{по}$  сильно зависят от квалификации оператора (наладчика) станка с ЧПУ.

При заданной организации производства в ГПС величина  $T_{орг}$  может быть принята одинаковой для всех станков или по крайней мере для всех операций, выполняемых на станках одной модели. Для практического расчета  $T_{пер}$  и  $T_{по}$  можно использовать следующие формулы:

$$T_{пер} = t_{кр} + N_{ин}t_{ин} + S_{рас}t_{рас};$$

$$T_{по} = N_{ин}t_{пин} + N_{пов}t_{пов} + S_{уп}T_{уп},$$

где  $t_{кр}$  — время переналадки (смены) крепежной оснастки, установки исполнительных органов станка в исходное положение, установки программоносителя (вызова управляющей программы) и проверки программы на холостом ходу;  $N_{ин}$  — количество

режущих инструментов в наладке;  $t_{ин}$  — время замены одного инструментального блока;  $S_{рас}$  — признак выполнения расточки кулачков ( $S_{рас} = 0$  или  $1$ );  $t_{рас}$  — время расточки кулачков;  $t_{пин}$  — время на коррекцию положения одного инструмента;  $N_{пов}$  — количество измеряемых поверхностей 11-го качества и точнее, канавок, обрабатываемых канавочным инструментом, и резьбовых поверхностей (для станков токарной группы) либо количество групп отверстий 9...7-го качества, обрабатываемых одним и тем же инструментом (для станков сверлильно-фрезерно-расточной группы) и т.д.;  $t_{пов}$  — дополнительное время на коррекцию положения каждого инструмента, используемого при окончательном формообразовании;  $S_{уп}$  — признак включения в  $T_{по}$  дополнительно времени  $T_{уп}$  ( $S_{уп} = 0$  или  $1$ ).

**Структура производственного процесса в ГПС.** В традиционных производствах оперативное внутрицеховое управление ведется на уровне планирования и учета выполнения технологических операций. Автономная организационная структура ГПС, наличие автоматизированных систем организации производства позволяют расширить сферу автоматизированного организационного управления, включив в нее не только основное оборудование, но и службы обеспечения производства, т.е. перейти от технологического маршрута обработки детали к производственному маршруту выполнения заказа.

Процесс выполнения заказа в ГПС состоит из трех основных этапов: подготовки производства, собственно изготовления деталей и сдачи готовой продукции.

Этап *подготовки производства* в общем случае предусматривает выполнение в разных сочетаниях и в различной последовательности следующих действий:

- технологической подготовки производства;
- открытия заказа на изготовление деталей в ГПС;
- получения заготовок;
- входного технического контроля;
- загрузки заготовок на автоматизированный склад;
- технической подготовки запуска;
- монтажа (ориентированного размещения) заготовок в приспособлениях;
- собственно запуска в производство.



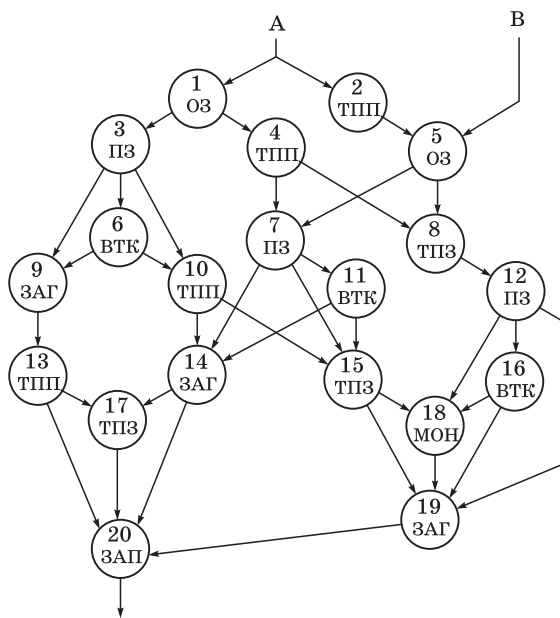


Рис. 5.5. Схема организации подготовки производства в ГПС:

ОЗ — открытие заказа; ТПП — технологическая подготовка производства; ПЗ — получение заготовок (полуфабрикатов после выносной операции); ВТК — входной технический контроль; ЗАГ — загрузка на склад; ТПЗ — техническая подготовка запуска; МОН — монтаж (ориентированное размещение) заготовок в транспортируемые приспособления; ЗАП — запуск в производство

Рассмотрим содержание и взаимосвязи различных операций подготовки производства, показанные в виде ориентированного графа (рис. 5.5).

*Технологическая подготовка производства* включает разработку маршрутной и операционной технологии, управляющей программы и необходимой сопроводительной документации.

В ГПС со стабильной номенклатурой, а также при изготовлении сложных деталей в случае проектирования специальной оснастки и т.п. технологическая подготовка (вершина 2) выполняется со значительным опережением по отношению к запуску в производство. При предварительном проведении технологической подготовки необходимо заблаговременно заказать несколько заготовок и выделить станочное время (иногда значительное)

для отладки управляющей программы непосредственно на станке. Во многих случаях основную долю этого времени занимают наладка станка и технологической оснастки.

В мелкосерийных ГПС с высоким коэффициентом обновления продукции затраты станочного времени на предварительную отладку программы могут быть сопоставимы с общим временем выполнения всего заказа. Поэтому технологическую подготовку (вершина 4) целесообразно совмещать с первым запуском деталей в производство. В опытных же производствах технологическая подготовка часто ведется по фактическим размерам имеющихся заготовок (вершины 10, 13).

При повторном запуске того же наименования деталей (вход В) операция технологической подготовки производства считается априори выполненной.

*Открытие заказа.* Производственная программа ГПС на текущий месяц формируется в конце предыдущего месяца. Помимо новых заказов, в нее автоматически переходят незавершенные заказы из старой производственной программы. Производственная программа может дополняться и корректироваться в течение месяца. В ГПС со стабильной номенклатурой открытие заказа на изготовление нового наименования деталей (вершина 5) допускается только после завершения технологической подготовки производства. В ГПС с высоким коэффициентом обновления продукции может предусматриваться возможность не только опережающего, но и оперативного проведения технологической подготовки после открытия заказа (вершина 1) и даже после получения заготовок (вершина 3).

На практике при составлении производственной программы обычно резервируются некоторые фонды времени, различные для станков разных моделей. В ГПС со стабильной номенклатурой резервные фонды используются для отладки программ, а в ГПС с высоким коэффициентом обновления продукции — для проведения первых запусков. Кроме того, резервы производственных мощностей необходимы для выполнения срочных заказов, открываемых в течение месяца.

*Получение заготовок и загрузка на склад.* Выделение получения заготовок (вершины 3, 7, 12) в отдельную операцию производственного маршрута, не совмещенную с загрузкой на склад (вершины 9, 14, 19), целесообразно в ГПС, которые имеют

небольшой автоматизированный склад, используемый только для хранения межоперационных заделов работ, и механизированный склад (накопительную площадку) для хранения заготовок в период подготовки запуска, а также если загрузке на автоматизированный склад должны предшествовать монтаж или ориентированное размещение заготовок в приспособлениях.

После приема сообщения о приходе заготовок автоматизированная система управления проверяет наличие технологической информации по данному наименованию деталей (номеру заготовки). При отсутствии или некомплектности этой информации выдается задание на срочное проведение операции технологической подготовки производства (вершины 10, 13). Если технологическая подготовка закончена, то при необходимости выдается задание на проведение технической подготовки запуска (вершины 15, 17) и монтажа заготовок (вершина 18). После завершения этих работ заготовки включаются в задание на загрузку на склад (вершина 19) или, если они уже загружены, запускаются в производство (вершина 20).

*Входной технический контроль* (вершины 6, 11, 16), как правило, совмещается с приемом заготовок. Результаты контроля, если они требуются для функционирования автоматизированной системы управления, сообщаются одновременно с информацией о получении заготовок.

В зависимости от организации производства в ГПС входной контроль проводится для всех или только для некоторых наименований деталей. В частности, проведение входного контроля обязательно, если по данному наименованию деталей допускается несколько вариантов заготовок (и, соответственно, несколько вариантов технологии обработки) и входной контроль нужен для идентификации номера заготовки. Входной технический контроль необходим также при проведении технологической подготовки производства по фактическим размерам пришедших заготовок.

Если полученные заготовки не соответствуют имеющейся технологии, то диспетчер ГПС по согласованию с планово-диспетчерским отделом завода принимает решение либо об их возврате цеху-поставщику или передаче в другой цех на доработку, либо о разработке нового варианта технологии. Адаптация управляющей программы к параметрам заготовок может быть проведена

непосредственно на станке с помощью устройства ЧПУ или системы централизованного управления станками. При большом объеме переделок вводится новый вариант заготовки, и организационно-техническая АСУ выдает задание на срочное проведение технологической подготовки для этого варианта (вершины 10, 13).

*Техническая подготовка запуска* (вершины 8, 15, 17) включает проверку наличия и комплектности, а также сборку и наладку вне станка необходимой технологической оснастки (крепежной, инструментальной, измерительной). В зависимости от принятой организации производства в ГПС подготовка технологической оснастки производится до запуска заказа в производство сразу по всему маршруту обработки либо для каждой технологической операции. Возможны также комбинированные варианты, когда часть оснастки (например, приспособления-спутники) готовится на этапе технической подготовки запуска, а остальная оснастка (в частности, комплекты режущего инструмента) — перед выполнением соответствующей технологической операции. В некоторых случаях техническая подготовка запуска проводится по опережающему графику до получения заготовок (вершина 8).

*Монтаж заготовок* для корпусных деталей в транспортируемые крепежные приспособления и ориентированное размещение заготовок для деталей типа тел вращения в транспортируемые приспособления производится до загрузки на автоматизированный склад как отдельная вспомогательная операция, как элемент выполнения технологической операции по пути из склада на станок либо непосредственно на рабочем месте. Монтаж заготовок в приспособления до загрузки на склад (вершина 18) характерен для ГПС с высокой степенью автоматизации производственных процессов. Смонтированные заготовки обычно сразу запускаются в производство.

*Запуск в производство* (вершина 20) является чисто информационным действием и означает включение заказа в список работ, разрешенных для планирования на станки. Эта операция выделяется как самостоятельная в тех случаях, когда в ГПС допускается предварительная поставка заготовок (например, для комплектации производственной программы будущего месяца), причем полученные заготовки накапливаются на складе. При

хранении заготовок на накопительной площадке запуск совмещается с загрузкой на склад. В остальных случаях запуск в производство осуществляется автоматически после завершения всех предшествующих операций производственного маршрута.

Этап *изготовления деталей* включает проведение технологических операций, выполняемых на станках с ЧПУ и другом станочном оборудовании, и дополнительных технологических операций (термообработки, мойки, сушки, слесарной обработки), выносных операций, а также вспомогательных операций, предусмотренных технологическим маршрутом.

Выполнение собственно технологической операции в общем случае состоит из пяти этапов:

- 1) проведение подготовительных работ на станке, включая обработку первой детали;
- 2) технический контроль первой детали;
- 3) обработка остальных деталей партии, в том числе размещенных в различных носителях;
- 4) операционный технический контроль по каждому носителю;
- 5) проведение заключительных работ на станке.

*Подготовительные работы на станке* включают транспортировку носителей с заготовками и сменной технологической оснасткой на рабочее место, переналадку станка, робота и оснастки, а также проведение комплекса работ по изготовлению первой годной детали (адаптацию управляющей программы к параметрам заготовки, пробную обработку первой детали, ее измерение и внесение коррекций для компенсации погрешностей технологической системы). Для роботизированных станков и ГПМ, имеющих собственные магазины заготовок, в состав подготовительных работ включается также перемещение заготовок из носителя в магазин.

Подготовительные работы заканчиваются *техническим контролем первой детали*, после проведения которого технический контролер выдает разрешение на *обработку остальных деталей*.

*Операционный технический контроль* обычно выполняется непосредственно на рабочем месте перед отправкой обработанных деталей на склад. Сообщение о проведении технического контроля, поступающее в систему управления ГПС, свидетельствует о завершении данной технологической операции и должно

передаваться отдельно по каждому носителю. На станках, оснащенных системой автоматического измерения, контроль деталей совмещен с циклом обработки. Данные о результатах контроля фиксируются в системе централизованного управления оборудованием и передаются в систему управления ГПС в режиме реального времени либо после обработки всех деталей на носителе. Проведение дополнительного операционного контроля в этом случае требуется, только если система автоматического измерения контролирует не все необходимые размеры.

*Заключительные работы на станке* включают отправку обработанных деталей на склад и сдачу использованной технологической оснастки и технической документации.

Вспомогательные операции, регламентированные принятой организацией производства в ГПС, и такие технологические операции, как мойка, сушка, вибростарение, могут выполняться в ГПС самостоятельно по отдельным плановым заданиям или как обязательные элементы технологической операции по пути со склада на станок и обратно.

Оперативная подготовка технологической оснастки вне станка ведется по опережающему графику во избежание удлинения производственного цикла. Например, при включении текущей технологической операции в плановое задание на станок система управления ГПС параллельно может выдавать задание на подготовку технологической оснастки для одной или нескольких следующих операций (в случае, если эта оснастка не была подготовлена ранее).

Если монтаж деталей в приспособления производится как самостоятельная вспомогательная операция, то после подготовки приспособления и проведения монтажа заготовки направляются на автоматизированный склад, а затем в соответствии с плановыми заданиями подаются на рабочие места. В противном случае заготовки сразу после монтажа направляются к станкам.

Обработанные детали демонтируются по пути со станка на склад либо сначала помещаются на автоматизированный склад, а затем демонтируются в соответствии со специальным плановым заданием. Если обработка закончена полностью, то после

проведения демонтажа детали помещаются на хранение на автоматизированный склад или же сразу подаются в приемосдаточную секцию для отгрузки.

Дополнительный операционный технический контроль в секции технического контроля ГПС назначается технологом после проведения ответственных технологических операций в случае, если необходимые измерения нельзя произвести непосредственно на рабочем месте.

Выносная операция включает отправку деталей в соответствующий цех завода, саму выносную операцию, возврат деталей в ГПС и т.д.

Этап *сдачи готовой продукции* в общем случае включает выполнение четырех операций: выходного технического контроля деталей, выгрузки деталей из склада, подбора комплекта деталей и отгрузки деталей заказчику.

*Выходной технический контроль* проводится в секции технического контроля ГПС в тех случаях, когда детали не могут быть полностью проверены при операционном контроле на последней технологической операции. После проведения выходного контроля процесс изготовления деталей считается законченным.

В большинстве случаев готовые детали подлежат немедленному вывозу из ГПС. Однако совмещение выходного технического контроля с *выгрузкой из склада* и *отгрузкой заказчику* не всегда возможно, поскольку эти операции выполняются различными службами.

В предметно-замкнутых ГПС при изготовлении узло- и машинокомплектов готовые детали в ожидании изготовления всего комплекта хранятся в ГПС (на складе или на накопительной площадке), а операции отгрузки предшествует *подбор комплекта деталей*. Если задан определенный ритм подачи комплектов на сборку, то операции комплектации и отгрузки должны проводиться с той же периодичностью.

В механосборочных ГПС готовые детали узлокомплекта обычно хранятся на складе и после комплектации подаются на сборочную операцию. Собранные узлы, далее рассматриваемые как детали, могут подвергаться дальнейшей обработке.

## Литература

Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконов, М.П. Кузнецов; под ред. Н.М. Капустина. М.: Высш. шк., 2002.

Автоматизация процессов в машиностроении / А.П. Белосов, А.И. Дащенко, П.М. Полянский [и др.]. М.: Высш. шк., 1973.

Автоматизация процессов машиностроения / Я. Буда, В. Гановская, В.С. Вихман [и др.]; под ред. А.И. Дащенко. М.: Высш. шк., 1991.

Автоматические роторные линии / И.А. Клусов, Н.В. Волков, В.И. Золотухин [и др.]. М.: Машиностроение, 1987.

Автоматическая загрузка технологических машин: справочник / И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, А.А. Иванов [и др.]; под общ. ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990.

*Балабанов А.Н.* Технологичность конструкции машин / А.Н. Балабанов. М.: Машиностроение, 1987.

*Белянин П.Н.* Робототехнические системы для машиностроения / П.Н. Белянин. М.: Машиностроение, 1986.

*Блехерман М.Х.* Гибкие производственные системы. Организационно-экономические аспекты / М.Х. Блехерман. М.: Машиностроение, 1988.

*Бор-Раменский А.Е.* Технологические и технические модули автоматизированного производства / А.Е. Бор-Раменский. Л.: Наука, 1989.

*Брук И.В.* Гибкие механообрабатывающие производственные системы / И.В. Брук, Б.И. Черпаков. М.: Высш. шк., 1987.

*Власов С.Н.* Транспортные и загрузочные устройства и робототехника / С.Н. Власов, Б.М. Позднеев, Б.И. Черпаков. М.: Машиностроение, 1988.

*Волчкевич Л.И.* Автоматизация производственных процессов / Л.И. Волчкевич. М.: Машиностроение, 2007.

*Волчкевич Л.И.* Автоматы и автоматические линии. В 2 т. / Л.И. Волчкевич, М.М. Кузнецов, Б.А. Усов. М.: Высш. шк., 1976.

*Гавриш А.П.* Гибкие робототехнические системы / А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский. Киев: Вища школа, 1989.



Гибкие автоматизированные производственные системы / О.М. Калинин [и др.]; под общ. ред. Л.С. Ямпольского. Киев: Техніка, 1985.

Гибкие производственные системы сборки / П.И. Алексеев, А.Г. Герасимов, Э.П. Давыденко [и др.]; под общ. ред. А.И. Федотова. Л.: Машиностроение, 1989.

*Давыгора В.Н.* ГПС для сборочных работ / В.Н. Давыгора. М.: Высш. шк., 1989.

*Егоров В.А.* Транспортно-накопительные системы для ГПС / В.А. Егоров, А.Д. Лузанов, С.М. Щербаков. Л.: Машиностроение, 1989.

*Жолобов А.А.* Технология автоматизированного производства / А.А. Жолобов. Минск: ДизайнПРО, 2000.

*Клусов И.А.* Проектирование роторных машин и линий / И.А. Клусов. М.: Машиностроение, 1990.

*Козырев Ю.Г.* Промышленные роботы : справочник / Ю.Г. Козырев. М.: Машиностроение, 1983.

*Кошкин Л.Н.* Роторные и роторно-конвейерные линии / Л.Н. Кошкин. М.: Машиностроение, 1982.

*Лищинский Л.Ю.* Гибкие производственные системы Японии / Л.Ю. Лищинский. М.: Машиностроение, 1987.

Металлорежущие системы машиностроительных производств / О.В. Таратынов [и др.]; под ред. Г.Г. Земскова, О.В. Таратынова. М.: Высш. шк., 1988.

Механизация и автоматизация сборки в машиностроении / А.В. Воронин, А.И. Гречухин, А.С. Калашников [и др.]. М.: Машиностроение, 1985.

Основы автоматизации машиностроительного производства / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов [и др.]; под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 1999.

*Попов Е.П.* Робототехника и гибкие производственные системы / Е.П. Попов. М.: Наука, 1987.

*Пуховский Е.С.* Технология гибкого автоматизированного производства / Е.С. Пуховский, Н.Н. Мясников. Киев: Техніка, 1989.

*Рабинович А.Н.* Автоматизация механосборочного производства / А.Н. Рабинович. Киев: Вища школа, 1969.

*Смехов А.А.* Автоматизированные склады / А.А. Смехов. М.: Машиностроение, 1987.

Справочник технолога-машиностроителя / под. ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985.

Усенко Н.А. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства / Н.А. Усенко. М.: Машиностроение, 1984.

Фельдштейн Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. Минск: Новое знание, 2008.

Хессе С. Рационализация подачи небольших заготовок / С. Хессе; пер. с англ. С.В. Сулига, В.С. Сулига. Киев: ДП «Фесто», 2004.

Шабайкович В.А. Ориентирующие устройства с программным управлением / В.А. Шабайкович. Киев: Техніка, 1981.

Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / В.Ю. Шишмарев. М.: Академия, 2007.

Яхимович В.А. Ориентирующие механизмы сборочных автоматов / В.А. Яхимович. М.: Машиностроение, 1975.

Яхимович В.А. Транспортно-загрузочные и сборочные автоматы / В.А. Яхимович. Киев: Техніка, 1986.

# Оглавление

Список условных сокращений .....	3
<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Общие сведения об автоматизированных системах</b>	
<b>механической обработки .....</b>	<b>8</b>
1.1. Автоматические станочные линии .....	8
1.2. Роторные и роторно-конвейерные линии .....	14
1.3. Станки с ЧПУ и гибкие производственные модули .....	20
1.4. Гибкие производственные ячейки, системы и участки .....	24
1.5. Структуры ГПС .....	33
1.6. Эффективность гибких автоматизированных систем	
механической обработки .....	37
<b>2. Автоматизация производственных процессов изготовления</b>	
<b>деталей .....</b>	<b>41</b>
2.1. Виды автоматизированных станочных систем,	
их состав и области рационального использования .....	41
2.1.1. Станки с ЧПУ и многоцелевые станки	
токарной группы .....	41
2.1.2. Станки с ЧПУ и многоцелевые станки	
сверлильно-фрезерно-расточной группы .....	50
2.2. Автоматические склады и накопители заготовок	
и деталей .....	55
2.3. Автоматизация транспортирования изделий .....	64
2.3.1. Транспортные устройства жестких	
автоматических линий .....	64
2.3.2. Транспортные устройства гибких	
автоматических линий .....	73
2.3.3. Транспортные устройства ГПС .....	75
2.4. Автоматизация загрузки и выгрузки изделий .....	81
2.4.1. Устройства приема и выдачи заготовок	
автоматических линий .....	81
2.4.2. Устройства приема и выдачи заготовок ГПС .....	87
2.5. Автоматические системы инструментообеспечения .....	93
2.5.1. Транспортирование режущих инструментов .....	93
2.5.2. Станочные инструментальные магазины .....	95
2.5.3. Автоматизация смены режущих инструментов .....	97
2.5.4. Замена изношенных инструментов .....	102
2.6. Автоматизация отвода стружки .....	105
2.7. Взаимодействие ЭВМ и производственного	
оборудования в условиях ГПС .....	109

<b>3. Автоматизация диагностики процесса обработки и контроля выпускаемой продукции.....</b>	<b>116</b>
3.1. Структура и задачи систем диагностики.....	116
3.2. Диагностика состояния металлорежущих станков.....	118
3.3. Диагностика состояния режущих инструментов (мониторинг) .....	119
3.3.1. Методы прямого контроля.....	120
3.3.2. Методы косвенного контроля.....	127
3.4. Автоматизация контроля точности обработки, сортировки деталей и размерной подналадки станков ....	131
3.4.1. Датчики, используемые в измерительных системах.....	133
3.4.2. Устройства пассивного контроля.....	148
3.4.3. Устройства активного контроля.....	151
3.4.4. Самонастраивающиеся контрольные системы....	158
<b>4. Основы автоматизации сборочных процессов .....</b>	<b>163</b>
4.1. Сущность и этапы автоматизации сборочных процессов .....	163
4.2. Виды автоматизированного сборочного оборудования.....	167
4.3. Автоматизация подачи и ориентирования деталей в процессе сборки.....	178
4.3.1. Классификация форм деталей в условиях автоматизированной сборки .....	179
4.3.2. Принципы ориентирования деталей в пространстве .....	182
4.3.3. Конструкции загрузочно-ориентирующих устройств .....	193
4.3.4. Дополнительные бункеры и ворошители.....	206
4.3.5. Транспортирующие лотки .....	207
4.3.6. Магазины и подающие устройства .....	212
4.4. Требования к технологичности конструкции изделий при автоматической сборке .....	216
4.5. Автоматизация соединения деталей .....	221
4.6. Применение роботов на сборочных операциях .....	227
<b>5. Эксплуатация гибких производственных систем.....</b>	<b>235</b>
5.1. Особенности эксплуатации ГПС.....	235
5.2. Эффективность и организация работы ГПС.....	246
<b>Литература.....</b>	<b>259</b>

*По вопросам приобретения книг обращайтесь:*

---

**Республика Беларусь**

ООО «Новое знание»  
220050, а/я 79, Минск,  
пр. Пушкина, д. 15а  
Тел./факс: (10-375-17) 211-50-38  
E-mail: nk@wnk.biz  
<http://wnk.biz>

**Российская Федерация**

*Отдел оптовых продаж «ИНФРА-М»:*  
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в, стр. 1  
Тел. (495) 380-4260; факс (495) 363-9212  
E-mail: books@infra-m.ru  
*Отдел «Книга—почтой»:*  
Тел. (495) 363-4260 (доб. 232, 246)

---

*Учебное издание*

*Среднее профессиональное образование*

**Фельдштейн Евгений Эммануилович**  
**Корниевич Михаил Анисимович**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**Учебное пособие**

Редактор	С.В. Исаенко
Художник обложки	С.В. Ковалевский
Компьютерная верстка	Т.Ю. Ваганова
Корректор	Л.К. Мисуно

Оригинал-макет подготовлен ООО «Новое знание»

Подписано в печать 25.11.2010.

Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Школьная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 13,42.

Тираж 800 экз. Заказ №

ТК 141500-9755

Общество с ограниченной ответственностью «Новое знание»  
ЛИ № 02330/0133439 от 30.04.2004.

Ул. Шаранговича, 7-2136, 220015, Минск, Республика Беларусь

Почтовый адрес: а/я 79, 220050, Минск, Республика Беларусь

Телефон/факс: (10-375-17) 211-50-38

E-mail: nk@wnk.biz <http://wnk.biz>

Издательский Дом «ИНФРА-М»

127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в

Тел.: (495) 380-05-40, 380-05-43. Факс: (495) 363-92-12

E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>