

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П.О.Сухого»

Кафедра «Технология машиностроения»

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Курс лекций по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения»

Гомель 2020

УДК 621:658.52.011.56(075.8) ББК

32.965я73

С77

*Рекомендовано научно-методическим советом факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого (протокол № 5  
от 09.01.2012 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Сельскохозяйственные машины» ГГТУ им.  
П. О. Сухого *А. В. Голопятин*

**Автор составитель Старовойтов, Н. А.**

С77 Автоматизация производственных процессов в машиностроении : курс лекций по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» днев. и заоч. форм обучения / Н. А. Старовойтов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 121с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows XP и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by/>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-092-8.

Изложены особенности проектирования технологических процессов в условиях автоматизированного производства.

Даны основные принципы построения и эффективного функционирования гибких производственных систем в механообработке и сборке на основе станков с ЧПУ и промышленных роботов. Рассмотрены производительность автоматизированных систем, виды цикловых и внецикловых потерь, методы расчета и оценки производительности автоматизированных систем.

Переработанный и обновленный курс лекций для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения.

УДК 517(075.8) ББК

22.14я73

ISBN 978-985-535-092-8

© Старовойтов Н. А., 2020

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2020

## СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЛ	— автоматическая линия
АП	— автоматизированное производство
АПС	— автоматизированная производственная система
АС	— автоматизированная система
АСС	— автоматизированная станочная система
АСУ	— автоматизированная система управления
АСУП	— автоматизированная система управления производством
АТ	— автономный транспорт
АТСС	— автоматизированная транспортно-складская система
АУ	— автоматизированный участок
АЦ	— автоматизированный цех
БД	— база данных
БЗУ	— бункерно-загрузочное устройство
БНД	— банк данных
ГПО	— гибкий производственный остров
ГАП	— гибкое автоматизированное производство
ГПМ	— гибкий производственный модуль
ГПУ	— гибкий производственный участок
ГПС	— гибкая производственная система
ГПЯ	— гибкая производственная ячейка
ЕТНС	— единая транспортно-накопительная система
КИМ	— контрольно-измерительная машина
МП	— микропроцессор
МС	— многоцелевой станок
ОС	— обратная связь
ПС	— производственная система
ПМ	— производственный модуль
ПР	— промышленный робот
ПЯ	— производственная ячейка
ПС	— производственная система
ПУ	— программное управление
ПО	— программное обеспечение
РПС	— распределенная производственная система
РТК	— робототехнический комплекс
САК	— система автоматизированного контроля
САПР	— система автоматизированного проектирования
САПР КД	— система автоматизированного проектирования конструкторской документации
САПР ТП	— система автоматизированного проектирования технологических процессов
СУБД	— система управления базами данных
СЧПУ	— система числового программного управления
ТЗ	— техническое задание
ТП	— технологический процесс

ТПП — технологическая подготовка производства

ТС — технологическая система

УП — управляющая программа

УЧПУ — устройство числового программного управления

ЧПУ — числовое программное управление



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Комплексная автоматизация производства является одним из основных направлений технической политики в нашем государстве.

Целью комплексной автоматизации является ускорение темпов повышения производительности труда, улучшение качества продукции и повышение ее конкурентоспособности, сокращение сроков создания новых изделий.

Важным направлением единой технической политики является широкое использование информационных технологий, а также создание высокопроизводительного и высокоэффективного производства, обладающего возможностью быстрой переналадки при переходе с управления одного типа изделия на другой, т.е. создание гибких производственных систем (ГПС).

Автоматизация производственных процессов имеет большое значение на современном этапе развития машиностроения при становлении рыночных отношений. Основой производственных процессов являются автоматизированные технологические процессы механической обработки и сборки, которые обеспечивают высокую производительность и необходимое качество изготавливаемых изделий.

Современное отечественное машиностроение должно развиваться в направлении автоматизации производства с широким использованием ЭВМ и роботов, внедрения гибких технологий, позволяющих быстро и эффективно перестраивать технологические процессы на изготовление новых изделий. Автоматизация проектирования технологии и управления производственными процессами — один из основных путей интенсификации производства, повышения его эффективности и качества продукции.

Характерным признаком современного производства является частая сменяемость изделий. При этом требования к производительности в условиях мелко- и среднесерийного производства значительно возрастают. Противоречия требований мобильности и производительности находят разрешение в создании гибких производственных систем (ГПС). Высокая эффективность производства достигается рациональным сочетанием оборудования, организацией транспортных операций и управления ГПС.

В роботизации наметился коренной поворот — от транспортно-загрузочных роботов к технологическим: в конструкциях роботов используются подвесные конструкции, поворотные звенья, электромеханические приводы.

Использование гибких производственных систем (ГПС) и технологических модулей позволяет изготавливать детали в любом порядке и варьировать их выпуск в зависимости от производственной программы, сокращает затраты и время на подготовку производства, повышает коэффициент использования оборудования, изменяет характер работы персонала, повышая удельный вес творческого, высококвалифицированного труда.

Тенденцией современного этапа автоматизации проектирования является создание комплексных систем автоматизированного проектирования и изготовления изделий, включающих конструирование изделий, технологическое проектирование, подготовку управляющих программ для оборудования с программным управ-

лением, изготовление деталей, сборку узлов и машин, упаковку и транспортирование готовой продукции.

Все эти этапы в настоящее время объединены в рамках концепции CALS технологии. (Continuous Acquisition and Lifecycle Support — что обозначает — непрерывное обеспечение и поддержка жизненного цикла изделий). Под CALS-технологией понимают компьютеризацию сфер промышленного производства. Основная ее задача — унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Применение CALS-технологии позволяет резко сократить объемы проектных работ, так как описания ранее проектированных изделий машиностроения хранятся в базах данных сетевых серверов, доступных пользователю технологии CALS.

Одним из путей к успешному внедрению CALS-технологии, является внедрение ее составляющей части CAD/CAM системы, реализующей принципы автоматизированного проектирования конструкторской документации и разработки технологических процессов, планировании и организации производства по принципу технологической общности деталей.

Под CAD/CAM технологиями необходимо понимать:

- CAD – автоматизированное проектирование конструкторской документации и технологических процессов, (САПР КД + САПР ТП)
- CAM-подготовка производства и автоматизированное изготовление изделий.

Если выпуск изделий осуществляется с использованием ГПС, то система

Объектом нашего изучения является дисциплина: «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» (АППМ).

Цель изучения этой дисциплины заключается в расширении вашего технического кругозора, освоение теоретических основ и практических навыков управления современным производством, приобретении комплекса специальных знаний и умений, автоматизации проектирования технологических процессов, прежде всего, должна обеспечивать их гибкость.

Под гибкостью понимается возможность быстрого перехода на новые технологические процессы в связи с изменением факторов, определяющих качество выпускаемых деталей (точность, качество поверхностного слоя и др.) и производительность. При изменении конструктивных параметров детали технологическая система должна количественно и качественно переналаживаться в сжатые сроки при минимальных затратах.

Таким образом, тенденцией современного этапа автоматизации является создание комплексных систем.

Такие комплексные системы включают:

- 1) Конструирование изделий с помощью САПР КД.
- 2) Технологическое проектирование процессов с помощью САПР ТП.
- 3) Изготовление изделий в максимально короткие сроки, ритмично, с минимальными издержками, с использованием технологических процессов с высокой степенью автоматизации и гибкостью.

Необходимо отметить, что только комплексная автоматизация приносит максимальные результаты.

необходимых для создания и организации высокоэффективных автоматизированных процессов в машиностроении. Дисциплина призвана сформировать системный подход к решению актуальных задач управления автоматизированным производственным процессом.

Изучение дисциплины ставит своими задачами:

- ознакомление с общими закономерностями и направления развития современного автоматизированного производства;
- изучение основ построения технологических процессов автоматизированного машиностроительного производства;
- ознакомление с производственными системами с применениями современных технологических средств автоматики и освоение принципов построения автоматизированных систем в машиностроении роботизированных технологических комплексов, гибких производственных систем;
- изучения методов управления вычислительной техникой, ознакомление с современным автоматизированным оборудованием, необходимым для организации и управления высокоэффективным производственным процессом.

«Автоматизация производственных процессов в машиностроении» понятие весьма широкое.

Сюда входит автоматизация производственных процессов в металлообработке, сборке изделий, в обработке металлов давлением, в термообработке, в гальванике, в литейном производстве и т.д.

Мы, исходя из нашей специальности, будем изучать автоматизацию производственных процессов в металлообработке и сборке, трудоемкость которых занимает в машиностроении от 50 до 80%.

## **2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **2.1. Особенности и этапы развития комплексной автоматизации**

При комплексной автоматизации, автоматизация многооперационных технологических процессов и созданных систем машин по своим возможностям, как правило, выходит за рамки отдельных технологий и даже стадий производства. Вместе с тем на современном уровне развития машиностроения комплексная автоматизация означает интеграцию не только производственных процессов, но и информационных технологии, базирующиеся на автоматизации умственного труда.

Этапы развития комплексной автоматизации связаны с автоматизацией производственных процессов.

Первым этапом автоматизации явилась автоматизация рабочего цикла, создание автоматов и полуавтоматов. Появление автоматов явилось логическим следствием развития и совершенствования конструкции рабочих машин. (30 – тые – 40 – вые годы).

Вторым этапом автоматизации является автоматизация системы машин, создание автоматических линий, объединяющих выполнение

разнообразных операций обработки, контроля, сборки, упаковки и т.д. (50 – тые – 80 – тые годы).

На третьем этапе автоматизации создаются гибкие производственные системы (ГПС) и на их базе автоматические цехи и заводы. (90 -ые – до настоящего времени).

Развитие автоматизированного оборудования с ЧПУ для серийного производства привело к созданию унифицированных конструкций вместо специально разрабатываемых в каждом конкретном случае, обеспечило переход к групповому управлению оборудованием с ЧПУ с помощью специальных ЭВМ более высокого уровня.

Наиболее общей тенденцией развития средств автоматизации серийного производства является переход от отдельных, не связанных между собой станков с индивидуальными процессорами, к автоматизированным технологическим комплексам, системам, управляемым от ЭВМ, т.е. переход от локальной автоматизации к комплексному управлению связанных между собой систем.

Такой комплекс включает в себя комплект технологического оборудования, транспортно-накопительные системы снабжения заготовками и инструментами, автоматизированную систему управления технологическими процессами, которая реализует управляющие и информационные функции.

Одной из особенностей научно-технического прогресса машиностроения в условиях массового и серийного производства является широкое распространение промышленных роботов. Промышленные роботы создаются для выполнения работ двух основных видов, связанных как непосредственно с технологическим процессом (сварка, окраска, сборка и др.), так и с вспомогательными процессами (загрузка и счет деталей, их транспортирование и т.д.).

Преимущество применения промышленных роботов — возможность реализации циклов перемещений любой сложности с рациональными режимами, с быстрой переналадкой, длительным поддержанием параметров процесса на необходимом уровне, что невыполнимо при ручных работах.

## **2.2. Роль гибкости (переналаживаемости) производства**

Автоматизация подготовки управляющих программ (УП) играет существенную роль в комплексной автоматизации проектирования и изготовления изделий. Управляющие программы должны учитывать изменяющуюся производственную среду, а также особенности их подготовки, например, для группы станков с ЧПУ при изготовлении комплекта деталей, параллельной обработки поверхности детали несколькими одновременно работающими инструментами, при использовании оперативной системы ЧПУ. (В обработке корпусных деталей – многоинструментальные коробки, в токарных станках многосуппортная обработка).

Наиболее часто нарушения процесса обработки в технологической системе происходят из-за преждевременного выхода из строя инструмента (преждевременный износ, выкрошивание режущих кромок или поломка). Причем эти отказы носят случайный характер и прогнозировать момент их появления крайне трудно. Могут возникать регистрируемые отказы любого из используемых в обработке инструментов. В этом случае предусматриваются в автоматическом режиме оценка сложившейся ситуации и принятие решения для изменения структуры технологи-

ческого процесса и продолжения обработки деталей без участия оператора для увеличения времени «безлюдного» режима.

УП строятся таким образом, чтобы можно было исключать отдельные их элементы при возникновении различных отказов, например, использовать инструмент дублер в магазине инструментов взамен изношенного или сломавшегося инструмента.

Современный этап развития машиностроения характеризуется необходимостью обеспечения конкурентоспособности продукции, что означает оперативное реагирование производства на изменение потребительского спроса, снижение себестоимости ее выпуска при существенном сокращении сроков выпуска и улучшении качества. Эта проблема предусматривает решение задачи сокращения периода технологической подготовки производства, что связано, прежде всего, с увеличением номенклатуры выпускаемой продукции при уменьшении партий и требует создания быстроперенастраиваемых производственных систем (ПС).

### **3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ–ОСНОВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ**

#### **3.1. Особенности проектирования технологических процессов в условиях автоматизированного производства**

При разработке технологических процессов автоматизированного производства (АП) рассматривают комплексно все его элементы: загрузку-выгрузку изделий, их базирование и закрепление, обработку, контроль, межоперационное транспортирование и складирование и др. Поэтому для оценки возможности и эффективности автоматизации важно правильно классифицировать технологические процессы.

Характерной особенностью технологических процессов в металлообработке и сборке является строгая ориентация деталей и инструмента относительно друг друга в рабочем процессе — это первый класс процессов.

Другие виды обработки (термообработка, сушка, окраска и пр.), которые не требуют строгой ориентации детали, относят ко второму классу процессов.

Кроме того, технологические процессы по непрерывности подразделяют на дискретные и непрерывные. Дискретные процессы характеризуются прерывистостью и строгой последовательностью рабочих и холостых движений, непрерывные — не прерываясь, изменяются плавно, без скачков (например, бесцентровое шлифование, протягивание). Это разделение носит условный характер, так как большинство процессов сочетает дискретность с непрерывностью.

Разработка технологических процессов автоматизированного производства характеризуется следующими особенностями:

- автоматизированные технологические процессы включают не только разнообразные операции механической обработки, но и мойку детали, обработку давлением, термообработку, сборку, контроль, упаковку, а также транспортно-складские и другие операции;
- требования к гибкости и автоматизации производственных процессов диктуют необходимость гибкости процесса изготовления изделий с заданным качеством.

вом. Степень подробности технологических решений должна быть доведена до уровня подготовки управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ.

Насущные требования по совершенствованию и сокращению сроков технологической подготовки производства вызвали необходимость к принципиально новому подходу к проектированию технологических процессов с использованием методов систем автоматизированного проектирования (САПР) с использованием постпроцессоров.

### **3.2. Основные принципы построения технологии механической обработки в автоматизированных производственных системах (АПС)**

При разработке технологических процессов для механической обработки в автоматизированных производственных системах (АПС) необходимо соблюдать их основные принципы построения:

1. **Принцип завершенности** заключается в том, что следует стремиться к выполнению всех операций в пределах одной автоматизированной производственной системы без промежуточной передачи полуфабрикатов в другие подразделения или вспомогательные отделения.

Для реализации принципа необходимо:

- обеспечение требований по технологичности изделий;
- разработка новых унифицированных методов обработки и контроля;
- расширение и обоснование типажа оборудования автоматизированных производственных систем с повышенными технологическими возможностями.

2. **Принцип малооперационной технологии** заключается в формировании технологических процессов с максимально возможным укрупнением операций, с минимальным числом операций и установок в операциях. Для реализации принципа необходимы те же мероприятия, что и для принципа завершенности, а также оптимизация маршрутов и операционной технологии, применение методов автоматизированного проектирования технологических процессов.

3. **Принцип «малолюдной» технологии** заключается в обеспечении автоматической работы автоматизированных производственных систем в пределах всего производственного цикла.

Для реализации принципа необходимы:

- стабилизация отклонений входных технологических параметров автоматизированных производственных систем (заготовок, инструментов, станков, оснастки);
- расширение и повышение надежности методов операционного информационного обеспечения;
- переход к гибким адаптивным системам контроля управления производственными процессами.

4. **Принцип «безотладочной» технологии** заключается в разработке технологических процессов не требующих отладки на рабочих позициях. Принцип особенно актуален для широкономенклатурных автоматизированных производственных систем, он близок к принципу 3. Для его реализации необходимы те же мероприятия, что и для принципа 3.

5. **Принцип активно-управляемой технологии** заключается в особой организации управления технологическими процессами, позволяющей оперативно произ-

водить коррекцию проектных решений на основе рабочей информации о ходе технологических процессов. Корректировать можно как технологические параметры, формируемые на этапе управления, так и исходные параметры технологической подготовки производства (ТПП).

Для реализации принципа необходимы:

- разработка методов и алгоритмов адаптивного управления технологическими процессами;
- разработка методов статистической коррекции базы данных (БД) для создания самообучающихся автоматизированных производственных систем.

**6. Принцип оптимальности** заключается в принятии решения на каждом этапе технологической подготовки производства и управлении технологическим процессом на основе единого критерия оптимальности.

Для реализации принципа необходимы:

- разработка теоретических основ оптимизации технологических процессов;
- разработка алгоритмов оптимизации для условий работы автоматизированных производственных систем;
- разработка специальных технических, аппаратных, программных средств реализации указанных алгоритмов.

Принцип оптимальности создает единую методическую основу решения технологических задач на всех уровнях и этапах, позволяет выработать наиболее эффективное, однозначное и взаимоувязанное решение указанных задач.

**7. Принцип групповой технологии** является фундаментальным для всех автоматизированных производственных систем, так как именно он обеспечивает «гибкость» производства.

Помимо рассмотренных для технологии автоматизированных производственных систем характерны и другие принципы:

- компьютерной технологии, информационной обеспеченности, интеграции, безбумажной документации, групповой технологии. Все они объединены в единую систему технологической подготовки производства (ТПП) и управления, что позволяет говорить о создании принципиально новой технологии автоматизированных производственных систем, реализующей наиболее эффективные технические решения и максимально раскрывающей потенциальные технические и технологические возможности автоматизированных производственных систем.

### **3.3. Типовые и групповые технологические процессы**

Методы типовой и групповой технологии, позволяющие свести к минимуму индивидуальные технологические разработки, широко используют при автоматизации технологической подготовки производства

Типизация технологических процессов для сходных по конфигурации и технологическим особенностям групп деталей предусматривает их изготовление по одинаковым технологическим процессам, основанным на применении наиболее совершенных методов обработки и обеспечивающим достижение наивысшей производительности, экономичности и качества. Основу типизации составляют правила обработки отдельных элементарных поверхностей и правила назначения оче-

редности обработки этих поверхностей. Типовые технологические процессы находят применение главным образом в крупносерийном и массовом производстве.

Принцип групповой технологии лежит в основе технологии переналаживаемого производства мелко- и среднесерийного.

При групповой технологии общим признаком объединения деталей в группы является общность обрабатываемых поверхностей и их сочетаний, т.е. общность оборудования, необходимого для обработки детали или отдельных ее поверхностей. Очевидно, что в состав группы можно включать заготовки различной конфигурации и даже различных типов.

В этом смысле понятие группы значительно шире понятия типа деталей, являющегося основой построения типового процесса. Поэтому групповые методы обработки характерны для обработки деталей с широкой номенклатурой.

И типизация технологических процессов, и метод групповой технологии являются основными направлениями унификации технологических решений, повышающей эффективность производства. Для их реализации необходимы классификация деталей, отработка их конструкций на технологичность с одновременной унификацией конструктивно-технологических элементов этих деталей.

### **3.3.1.Классификация деталей**

Классификацию деталей проводят в целях определения групп технологически однородных деталей для их совместной обработки в условиях группового производства.

При классификации деталей нужно учитывать следующие признаки:

- конструктивные — в соответствии с классификатором ЕСКД (детали типа валов, корпусных коробчатой формы, типа крышек и фланцев, пластин и т. д);
- габаритные размеры, массу, материал, вид обработки и припуски при обработке заготовок;
- число операций обработки;
- точностные и другие показатели, например, шероховатость обрабатываемых поверхностей.

То есть все данные необходимые для выбора технологического оборудования.

Группирование деталей по конструктивно-технологическим признакам и выбор деталей-представителей выполняют методом группирования с учетом выше изложенных признаков в такой последовательности:

- выбор совокупности деталей на уровне классов, например, тела вращения для механообрабатывающего производства и корпусные детали нескольких изделий, которые планируются изготавливать с использованием гибкой производственной системы.
- выбор совокупности деталей на уровне подкласса, например, детали типа вала
- классификация деталей на группы в каждом подклассе по комбинации поверхностей: подкласс валов с комбинацией гладких цилиндрических поверхностей, валы с цилиндрическими поверхностями, шпоночными пазами, лысками и резьбовыми отверстиями перпендикулярными оси вращения, подкласс корпусных деталей, с определением минимальных и максимальных длины и диаметра, исходя из



технических характеристик предполагаемого выбора технологического оборудования, например, токарного многооперационного станка или стороны куба для обработки корпусных деталей на сверлильно- фрезерно-расточных многооперационных станках.

- внутри каждой группы выделение подгрупп деталей с максимальной концентрацией операций и переходов, т. е. с максимальной трудоемкостью.

- в каждой подгруппе выбирают типовой представитель по критерию максимума операций технологического процесса;

- выполняют укрупненное нормирование операций обработки типового представителя по каждой подгруппе деталей, т.е. определяют штучное время и применяют его для всех деталей группы;

- определяют укрупнено суммарную станкоемкость  $Q_{ij}$  по каждой операции на группу изделий с учетом годового выпуска деталей группы:

$$Q_{ij} = t_{штij} N_i \quad (3.1)$$

$Q_{ij}$  — станкоемкость обработки  $i$ -й операции  $j$ -й группы деталей;

$N_i$  — годовой выпуск изделий  $i$ -й группы.

$t_{штij}$  — штучное время обработки по  $i$ -й операции типового представителя  $j$  — й группы; (время обработки операции с учетом всех потерь, как цикловых, так и внецикловых) По данным расчета станкоемкости для различных групп деталей входящих в изделия составляют диаграмму и определяют предпочтительную зону автоматизации, (рис.3.1).

Одним из факторов, определяющих приоритет автоматизации, является станкоемкость групповой обработки. Итоговые данные удельного веса станкоемкости обработки рассчитывают для каждой группы деталей. Этот показатель необходим для определения целесообразности и очередности автоматизации.

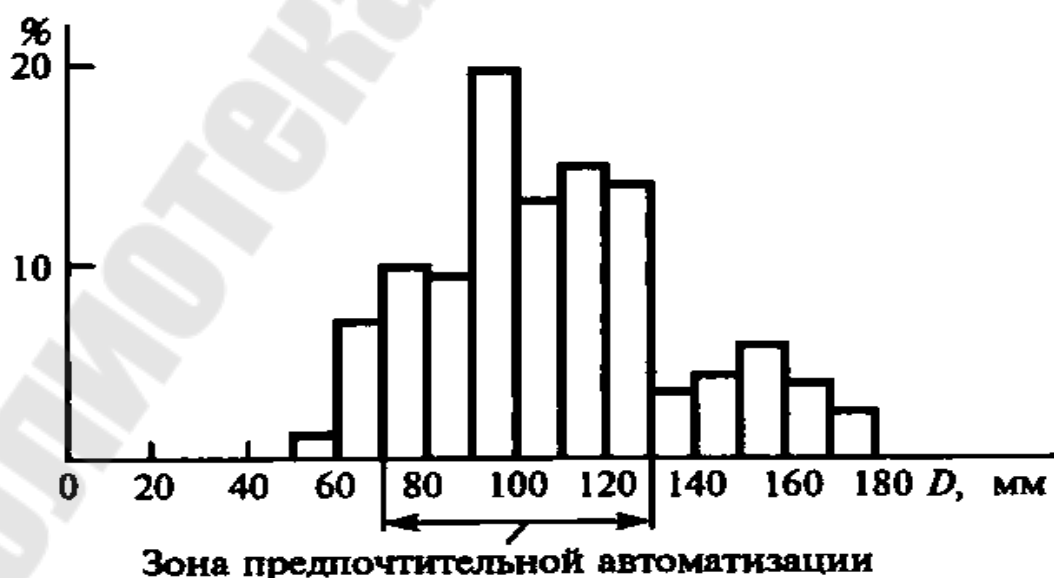


Рис.3.1. Пример диаграммы частоты распределения

коротких тел вращения по диаметру.

При большой номенклатуре деталей и трудностях с выполнением группирования допускается анализ выпускаемой продукции по ее основным группам. В этом случае по каждой группе деталей определяют деталь-представитель, имеющую наибольшее число общих признаков, присущих деталям данной группы. Остальные детали являются модификациями базовой детали. По детали-представителю рассчитывают укрупнено станкоемкость изделий, но, как правило, такой метод расчета приводит к завышению результатов.

### **3.4. Технологичность конструкций изделий для условий автоматизированного производства**

Оценка и обработка конструкций изделий на технологичность — один из важнейших этапов технологической подготовки производства, и в особенности автоматизированного. Конструкция изделия считается технологичной, если для его изготовления и эксплуатации требуются минимальные затраты материалов, времени и средств. Оценка технологичности проводят по качественным и количественным критериям отдельно для заготовок, обрабатываемых деталей, сборочных единиц.

Для повышения надежности автоматизированного производства (АП) необходимо максимально приблизить форму и размеры заготовки к конечной форме и размерам детали, т. е. обеспечить достижение минимальных припусков на каждой операции.

Детали, подлежащие обработке в АП, должны быть технологичны, т. е. просты по форме, габаритам, состоять из стандартных поверхностей и иметь максимальный коэффициент использования материала. Детали, подлежащие сборке, должны иметь как можно больше стандартных поверхностей, соединений, простейших элементов ориентации сборочных единиц и деталей.

### **3.5. Типизация технологических процессов и метод группового изготовления деталей**

Типовые процессы разрабатывают на изготовление в конкретных производственных условиях типовых представителей групп изделий, обладающих общими конструктивно-технологическими признаками.

К типовым представителям относят те изделия, обработка которых требует наибольшего количества операций, характерных для изделий рассматриваемых групп. Типовые ТП находят применение главным образом в крупносерийном и массовом производстве.

Типизация ТП является одним из основных направлений технологической унификации наряду с групповым методом обработки деталей.

Групповые ТП получили распространение в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств. Иногда их применяют и в условиях крупносерийного и массового производства для деталей с коротким производственным циклом.

К классификационным признакам типовых деталей относят: конфигурацию (форма), размер, точность и качество обработанных поверхностей, материал. Классификация построена по схеме класс — подкласс — группа — тип.

На рис. 3.2. приведена схема классификации деталей класса реек. Конечной целью классификации деталей является установление типов деталей, т. е. совокупностей сходных деталей, имеющих в данных производственных условиях общий ТП. Целью же разработки типовых технологических процессов является систематизация ТП для обработки однотипных деталей.

Создание типовых ТП позволяет избегать повторных и новых разработок при проектировании рабочих ТП, что ведет к сокращению времени на технологическую подготовку производства и особенно эффективно при создании БД типовых ТП и использовании информационных технологий на стадии технологических разработок.

Групповые ТП — второе направление унификации ТП (впервые предложенные и разработанные проф. С.П. Митрофановым) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности.

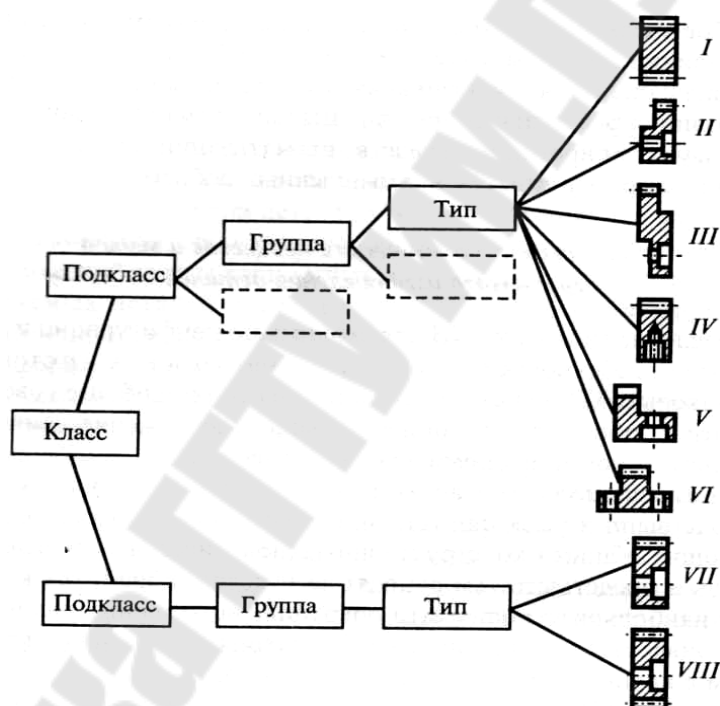


Рис.3.2. Схема классификации деталей типа реек.

Однако построение классификации деталей для групповой обработки за основу метода, так же как и при типизации ТП, принимают технологическую классификацию деталей, заканчивающуюся формированием групп. существенно отличается от классификации деталей при типизации ТП.

Если при типизации процессов в общий класс объединяют детали и заготовки по принципу общности их конфигурации, технологического маршрута, отдельных операций, то при групповой обработке основным признаком объединения деталей в группы по отдельным технологическим операциям является общность обрабатываемых поверхностей или их сочетаний, т. е. общность оборудования, необходимого для обработки детали или отдельных ее поверхностей.

Очевидно, что в состав группы могут включаться заготовки различной конфигурации (рис. 3.3.)

В этом смысле понятие группы значительно шире понятия типа деталей, являющегося основой построения типового процесса. Поэтому групповые методы обработки характерны для обработки деталей с широкой номенклатурой, типичной для единичного, мелкосерийного производства.

При формировании групп деталей учитывают следующие признаки: общность обрабатываемых поверхностей, их точность и шероховатость, однородность материала заготовок, близость их размеров, позволяющая обрабатывать детали на одном и том же оборудовании в однотипных приспособлениях, серийность выпуска и трудоемкость обработки деталей. Если у сложных заготовок отсутствуют поверхности, характерные для других более простых заготовок, то эти поверхности искусственно добавляют в технологический процесс. Такую усложненную деталь называют комплексной.

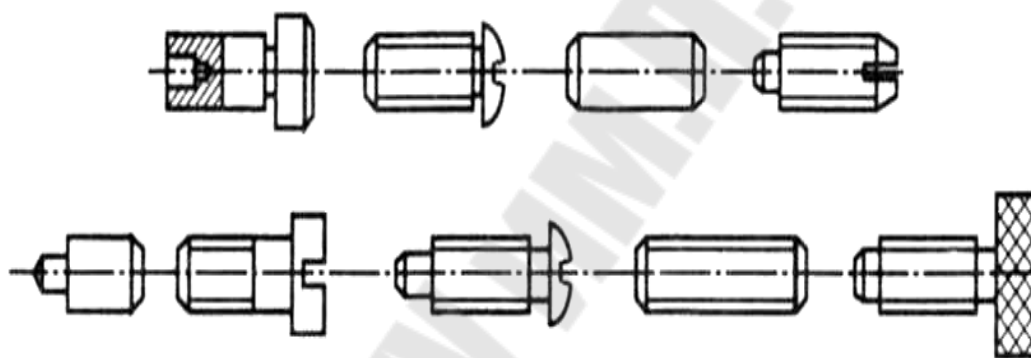


Рис.3.3. Примеры деталей, обрабатываемых по одному групповому ТП.

Типизация ТП, методы групповой обработки деталей позволяют не только существенно сократить трудоемкость технологической подготовки производства, снизить затраты на оборудование и оснастку, но и обеспечивают максимальную загрузку станков (загрузка станков с ЧПУ повышается в 2,4 раза).

### **3.6.Основные требования к технологии и организации механической обработки в автоматизированных производственных системах (АПС)**

В силу необходимости и возможности быстрой переналадки при серийном и мелкосерийном производстве в автоматизированных производственных системах для каждой возможной детали (изделия) или типоразмера должна быть разработана подробная технология изготовления, разработаны специальные или универсальные приспособления, в том числе спутниковые. Это необходимо для обеспечения быстрого перехода с одного изделия на другое буквально в течение смены или суток.

Для стабилизации и повышения надежности обработки применяют два основных метода построения технологического процесса:

- использование оборудования, обеспечивающего надежную обработку в «малолюдном режиме»;
- регулирование параметров технологического процесса на основе контроля изделий в ходе самого процесса.

Указанные принципы реализованы при создании технологии обработки основных двух классов деталей:

- корпусных деталей;
- деталей в форме тел вращения.

При обработке корпусных деталей предпочтение отдается многоинструментальным станкам с ЧПУ типа «обрабатывающий центр». При разработке технологии для «обрабатывающих центров» учитывают ряд предложений:

- обеспечивают обработку базовых поверхностей за одну установку;
- обеспечивают минимальное число смен инструментов и поворотов стола с деталью, особенно при обработке точных отверстий с жесткими допусками.
- стремятся к минимальным изменениям относительного положения детали и инструмента;
- последовательность переходов определяют исходя из условия уменьшения холостых ходов;

Обработку деталей в форме тел вращения осуществляют в основном на токарных станках с ЧПУ и гибких модулях на их основе. Для улучшения качества обработки широко применяют проверенную в конкретных производственных условиях групповую операционную технологию.

При обработке деталей в форме тел вращения на многооперационных токарных станках с ЧПУ с применением нескольких инструментальных суппортов с одновременной обработкой детали несколькими резцами, с возможностью выполнения фрезерных операций и полной обработки за счет наличия противошпинделя, привело к значительному повышению производительности за счет концентрации операций

### **3.7. Направления развития современного машиностроительного производства**

В настоящее время сложившийся тип производственных структур машиностроительных предприятий характеризует ряд признаков:

1) Отсутствие ярко выраженной технологической специализации машиностроительных производств. (т.е. каждое предприятие от мало до велика стремится иметь в себя все технологические переделы и процессы);

2) В следствие изложенного в первом пункте возникает распыленность технологических ресурсов и капитальных вложений, когда стремимся делать все сами, кооперация развита плохо, итог – плохое качество.

3) Во многих случаях избыточность или недостаточность мощностей производственных систем;

4) Отсутствие гибкости производственных систем при переходе предприятия к выпуску новой продукции. Предметная специализация по предприятиям лежала в основе отрасли. Переход на выпуск принципиально новой продукции в этих условиях требует коренной перестройки с привлечением дополнительных инвестиций, получение которых затруднено.

На смену постоянным организационным структурам промышленных предприятий предметной специализации должна прийти перманентная структура, структура на основе, так называемой, перманентно-изменяющейся матрицы. Промышлен-

ное производство представляется как система предприятий корпоративного типа, состоящего из головного предприятия, определяющего вид выпускаемой продукции, и набора технологически специализированных предприятий. Состав и количество таких предприятий определяются видом изготавливаемых изделий. Такая структура легко изменяется в зависимости от запросов рынка. Ее формирование тесно связано с особенностями современного машиностроительного производства:

- формируется рынок информационных и наукоемких технологий;
- наука становится самостоятельным элементом производительных сил общества. Производство наукоемких изделий базируются на опережающих фундаментальных исследованиях;
- в качестве важнейшего фактора развития предприятий выступает конкуренция;
- происходит реструктуризация предприятий на основе рыночных законов экономики. Внедряется CALS технологии, обеспечивающие выполнение полного жизненного цикла изделий;
- индивидуализация заказов, частая смена моделей изделий приводят к повышению трудоемкости технологической подготовки производства;
- основными показателями эффективности деятельности предприятий становятся: гарантия сроков выполнения заказов, качество и ценовая конкурентоспособность изделий;
- развитие кооперации между предприятиями, расширение рынков сбыта изделий приводят к необходимости создания для производства единой информационной базы.

Таким образом, современный этап развития машиностроения характеризуется необходимостью обеспечения конкурентоспособности производимой продукции, что означает оперативное реагирование производства на изменение потребительского спроса, снижение себестоимости ее выпуска при существенном сокращении сроков выпуска и обеспечение качества. Эта проблема предусматривает решение задачи сокращения времени на технологическую подготовку производства (ТПП), связанного, прежде всего, с увеличением номенклатуры выпускаемой продукции при снижении величин партий, что требует создания быстроперенастраиваемых гибких производственных систем (ГПС).

## **4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

### **4.1. Виды внецикловых потерь**

Суммарные внецикловые потери машины складываются из внецикловых потерь различных видов, которые объективно характеризуют конструкцию станков или гибкой линии, технологический процесс, условия эксплуатации.

С точки зрения теории производительности любое время, в течение которого не происходят обработка, контроль, сборка и другие операции, считается потерянным, так как приводит к уменьшению фактической производительности. Поэтому холостые ходы и внецикловые потери (простои, приходящиеся на одно обработанное изделие) в равной степени считаются временными потерями.

Для любых рабочих машин, в том числе автоматов и гибких линий, можно провести единую классификацию видов потерь времени в процессе эксплуатации, которая является одним из примеров общности методов анализа машин различного технологического назначения.

Цикловые потери, вида I — потери по холостым ходам:

- 1) подача материала, транспортировка объекта обработки с позиции на позицию;
- 2) фиксация, зажим и разжим заготовки;
- 3) подвод и отвод рабочих органов;
- 4) переключение отдельных механизмов;
- 5) смена инструмента и заготовки.

Холостыми ходами рабочего цикла считаются такие ходы, когда машина работает, но обработка детали не происходит. Если холостые ходы совмещены со временем обработки детали, то они не учитываются как холостые ходы, например, поиск инструмента в магазине.

Холостые ходы являются цикловыми потерями времени, так как происходят вне процесса обработки детали. Остальные виды потерь — внецикловые, так как вызываются простоями.

Внецикловых потери (простои):

Вида II — по инструменту, когда машина неработоспособна из-за неработоспособности инструмента:

- 1) смена, установка и регулировка инструментов;
- 2) ожидание наладчика;
- 3) хождение за инструментом;
- 4) частичная заточка, правка инструмента и др.

Вида III — по оборудованию, когда машина неработоспособна из-за неработоспособности механизмов и устройств:

- 1) регулировка и ремонт механизмов машины;
- 2) ожидание ремонтного мастера;
- 3) получение запасных частей;
- 4) ожидание изготовления деталей и т. д.

Вида IV — по организационным причинам, когда механизмы, устройства и инструменты, а следовательно, машина в целом работоспособна, но не работает по внешним причинам:

- 1) периодическая загрузка материала;
- 2) уборка отходов;
- 3) сдача готовых деталей и получение заготовок;
- 4) переговоры по работе;
- 5) сдача смены;
- 6) отсутствие обрабатываемого материала;
- 7) отсутствие рабочего и т. д.

Вида V — по браку, когда машина формально работает и выдает продукцию, которая, однако, не соответствует техническим требованиям и не является годной:

- 1) брак изделий при неправильной наладке машины;
- 2) брак вследствие нарушения настройки в процессе работы;

3) брак материала, обнаруженный после первых операций, и др.

Вида VI — по переналадке, когда машина работоспособна и может выдавать те изделия, на обработку которых должна быть настроена:

1) переналадка механизмов в связи с переходом на изготовление другого изделия;

2) замена технологической оснастки;

3) кинематическая настройка;

4) смена кулачков, программы, приспособлений и инструментов и др.

5) смена управляющей программы в станка с ЧПУ.

Указанные виды потерь можно проследить для любых типов рабочих машин.

Так, для токарного станка с ЧПУ к потерям вида I относятся:

- поворот и фиксация резцовой головки;

- зажим и разжим детали;

- открытие и закрытие ограждения;

- подвод и отвод на ускоренном ходу режущего инструмента.

К потерям вида II — смена и регулировка резцов;

К потерям вида III — устранение отказов механизмов и устройств, связанных с поломками, несрабатыванием, разрегулированием и т. д.;

К потерям вида IV — отсутствие прутков, уборка стружки, несвоевременный приход и уход наладчиков и операторов;

К потерям вида V — время, затраченное на обработку отбракованных деталей;

К потерям вида VI — переналадка и замена кулачков в патроне, замена инструмента, регулировка механизмов, кинематическая настройка и т. д.

Внецикловые потери являются одним из важнейших параметров в теории производительности и надежности автоматов и автоматических линий. Все внецикловые потери можно разделить на две категории:

1) потери, вызванные причинами, прямо или косвенно связанными с конструкцией и режимом работы автомата или линии, — собственные потери (потери по инструменту, ремонту и регулированию механизмов и устройств, брак операций, выполняемых на линии и т. д.)

2) потери, вызванные внешними организационно-техническими причинами (отсутствие заготовок, несвоевременный приход и уход оператора, наладчика, брак предыдущих операций, обнаруженный при обработке, и т. д.).

Коэффициент использования  $\eta_{ис}$  любой рабочей машины, станка,

$$\eta_{ис} = \frac{\Theta_p}{\Theta_{ис}} = \frac{\Theta_p}{\Theta_p + \sum \Theta_{ис} + \sum \Theta_{от}} \quad [4.1],$$

где:

$\Theta_p$  — рабочее время машины, станка за период его использования.

$\Theta_{ис}$  — время ее использования машины.

$\sum \Theta_{ис}$  — собственные простои машины за время ее использования.



$\sum \Theta_{от}$  — организационно - технические простои за тот же отрезок времени.

Умножим числитель и знаменатель в этом выражении на величину

$$\Theta_p + \sum \Theta_c$$

Преобразуя, получим

$$\eta_{ис} = \frac{\Theta_p}{\Theta_p + \sum \Theta_c + \sum \Theta_{от}} \times \frac{\Theta_p + \sum \Theta_c}{\Theta_p + \sum \Theta_c} =$$

$$\frac{\Theta_p}{\Theta_p + \sum \Theta_c} \times \frac{\Theta_p + \sum \Theta_c}{\Theta_p + \sum \Theta_c + \sum \Theta_{от}} = \eta_{тех} \eta_{заг} \quad [4.2]$$

Величину  $\eta_{тех} = \Theta_p / (\Theta_p + \sum \Theta_c)$  [4.3] называют коэффициентом технического использования и определяют с учетом только собственных потерь; его значение показывает, какую долю времени работает автомат при условии обеспечения всем необходимым. Так, величина  $\eta_{тех} = 0,85$  означает, что если автомат полностью обеспечен заготовками, инструментом, электроэнергией, обслуживающим персоналом, то в среднем он 85% времени работает, а 15% времени занимают смена и регулировка инструментов, ремонт и регулирование механизмов и т. д. Следовательно, коэффициент технического использования характеризует, прежде всего, долговечность, надежность механизмов и инструмента, стабильность технологического процесса и др.

Величина  $\eta_{заг} = (\Theta_p + \sum \Theta_c) / (\Theta_p + \sum \Theta_c + \sum \Theta_{от})$  [4.4] называется коэффициентом загрузки и определяется с учетом как собственных, так и организационно-технических потерь. Его значение показывает, какую долю общего планового фонда времени автомат работает, ремонтируется, настраивается и какую долю простаивает по внешним причинам. Так, величина  $\eta_{заг} = 0,8$  означает, что из общего планового фонда времени лишь 80% занимают работа и простои автомата для устранения возникающих при работе неполадок, а 20% времени простаивает при полной исправности механизмов и инструмента по организационно-техническим причинам. Иначе, возможности выпуска продукции при данных режимах работы используются лишь на 80%, что определяется уровнем загрузки в данных условиях работы.

## 4.2. Методы расчета и оценки производительности автоматизированных систем

Производительность определяют количеством годных деталей, изделий, комплектов, выпускаемых машиной в единицу времени. Время обработки детали машиной является обратной величиной производительности. При расчете, анализе и оценке производительности автоматизированного оборудования с учетом различных видов затрат времени используют различные виды производительности: цикловую, техническую и фактическую.

**Цикловая производительность** — теоретическая производительность машины с реальными холостыми и вспомогательными ходами.

$$Q_{\text{ц}} = 1/T = \frac{1}{t_p + t_x + t_{\text{всп}}} \quad [4.5],$$

где:

$T$  — время одного цикла обработки;

$t_p$  — рабочее время машины;

$t_x$  — время холостых ходов если не перекрывается  $t_p$ .

$t_{\text{всп}}$  — вспомогательное время на установку и снятие детали и ее измерение если оно не перекрывается  $t_p$ , время управления станком, смену инструмента.

**Техническая производительность** — теоретическая производительность машины с реальными холостыми ходами и учетом ее собственных простоев,  $\sum t_c$ , связанных с выходом из строя инструментов, приспособлений, самого оборудования

$$Q_{\text{т}} = \frac{1}{t_p + t_x + t_{\text{всп}} + \sum t_c} \quad [4.6]$$

**Фактическая производительность** — минимальная производительность, учитывающая все виды потерь:

$$Q_{\text{ф}} = \frac{1}{T + \sum t_{\text{пр}}} = \frac{1}{(t_p + t_x + t_{\text{всп}}) + (\sum t_c + \sum t_{\text{орг}} + \sum t_{\text{пер}})} \quad [4.7]$$

где:

$\sum t_{\text{пр}} = (\sum t_c + \sum t_{\text{орг}} + \sum t_{\text{пер}})$  — суммарное время простоев;

$\sum t_{\text{орг}}$  — время простоев по организационно-техническим причинам, не связанным с работой оборудования;

$\sum t_{\text{пер}}$  — суммарное время переналадок оборудования.

Для количественной оценки фактической производительности необходимо общее количество деталей  $z$  разделить на период (в мин, час.) их изготовления  $\theta$ .

$$Q_{\text{ф}} = \frac{z}{\theta} \quad [4.7]$$

Все показатели производительности в общем случае являются функциями времени и изменяются в процессе эксплуатации машин в результате действия различных факторов (износа, старения, повреждений, поломок и др.).

На рис.4.1. показаны типовые зависимости изменения коэффициента использования  $\eta_{\text{исп}}$  и коэффициента технического использования  $\eta_{\text{тех}}$  в процессе эксплуатации машин. Величина  $\eta_{\text{исп}}$  монотонно растет пропорционально производст-

венной программе. Величина  $\eta_{\text{тех}}$  изменяется по более сложному закону в соответствии с основными периодами эксплуатации автоматов или ГПС.

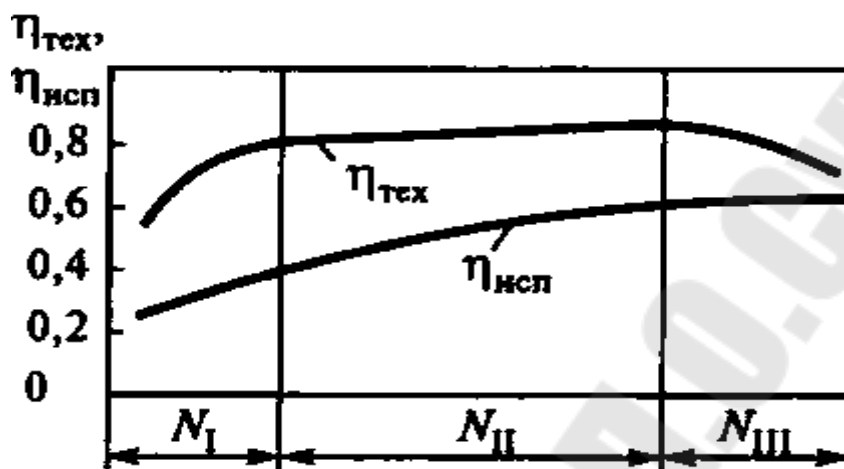


Рис. 4.1. Изменение показателей оборудования в процессе эксплуатации:  $N_I$  — период пуска и освоения;  $N_{II}$  — период стабильной эксплуатации;  $N_{III}$  — период проявления износа.

## 5. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ ГПС И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

### 5.1. Классификация ГПС по структурно-организационным уровням управления

В зависимости от отрасли и типа производства АПС могут создаваться на базе различного оборудования: универсального, агрегатного, специального и специализированного, автоматов, полуавтоматов, обрабатывающих центров, станков с ЧПУ, объединенного гибкими или жесткими транспортными устройствами.

Для серийного и мелкосерийного производства характерно применение автоматизированных систем из станков с ЧПУ, обрабатывающих центров с гибкой связью, предполагающих наличие межоперационных накопителей.

В рыночной экономике производители ставят на первое место все более полное удовлетворение спроса покупателей, а производительность и издержки производства считаются внутренними факторами предприятия, являются вторичными, но также весьма важным фактором с точки зрения их минимизации. В связи с этим в массовом и крупносерийном производстве появляется все большее количество модификаций изделий и наблюдается сдвиг в сторону уменьшения серийности, все более также используются гибкие системы, с различной степенью гибкости, на которых производится механическая обработка деталей, сборка изделий различных модификаций, с возможностью реализации этих задач с минимальной переналадкой или без нее по ходу технологического процесса, используя управление с помощью ЭВМ верхнего уровня.

Переналадка оборудования в условиях многономенклатурного производства возможна за счет построения АПС по модульному принципу, когда и основное, и

вспомогательное оборудование komponуют из типовых гибких производственных модулей (ГПМ), транспортно- складских систем и механизмов.

В зависимости от способа загрузки заготовок и инструмента ГПМ подразделяются на роботизированные и нероботизированные (с трансманипуляторами).

По структурно-организационным уровням управления и составу оборудования по классификации фирмы «Вернер», (ФРГ), основными структурными составляющими гибкого производства являются: гибкие производственные модули (ГПМ), гибкие производственные ячейки (ГПЯ), гибкие производственные острова (ГПО), гибкие производственные системы (ГПС).

По межстаночному транспорту различают следующие ГПС:

- со сквозным транспортом без перестановки изделия;
- с транспортной системой с перестановкой изделия;
- с транспортной системой с промежуточными накопителями.

Такие ГПС получили преимущественное развитие благодаря возможности создания переналаживаемых производств.

Число единиц и номенклатура применяемого оборудования в ГПС зависит от производственной программы, их подсчитывают и выбирают оптимальными с точки зрения получения наибольшей производительности и надежности. Критерием выбора различных компоновок, структуры, состава ГПС с учетом характеристик и функциональной взаимосвязи являются, в конечном счете производительность и гибкость.

Высокие темпы технического прогресса требуют такого технического оснащения производства, которое могло бы успевать за техническим прогрессом, т. е. иметь высокую мобильность (возможность выпуска широкой номенклатуры и типов деталей и изделий). Эта характерная черта серийного производства приобретает важную роль в машиностроении и в других отраслях промышленности.

С этой целью создают переналаживаемые производственные системы с автоматизированной переналадкой при производстве изделий произвольной номенклатуры.

Организационными уровнями гибкого производства (ГП) являются гибкие производственные участки (ГПУ), где производится обработка деталей в зависимости от вида технологического процесса (мехобработка, сварка, и т.д.), гибкие автоматизированные цеха (ГАЦ), где весь технологический процесс изготовления деталей производится на ГПУ, гибкий производственный завод (ГПЗ), который включает в себя несколько ГАЦ.

**Гибкий производственный модуль (ГПМ)** — система, состоящая из единицы технологического оборудования (обрабатывающий многооперационный центр), оснащенная устройством числового программного управления (УЧПУ) и средствами автоматизации технологического процесса (автоматическая смена инструмента и заготовок), которая автономно функционирует и ее можно встраивать в систему более высокого уровня. В модуль входит обрабатывающий центр с роботизированной или манипуляторной сменой инструмента и заготовок, имеющий возможность интеграции в погрузочно-разгрузочную и транспортно-накопительную системы, контрольно-измерительную систему и возможность управления от ЭВМ верхнего уровня.

**Гибкая производственная ячейка (ГПЯ)** содержит несколько однородных, могущих полностью заменять друг друга ГПМ связаны в одну общую, управляемую от ЭВМ верхнего уровня, систему посредством общего автоматического снабжения заготовками и инструментами, с единой транспортно-накопительной системой и системой измерения, с возможностью встраивать в систему более высокого уровня.

**Гибкий производственный остров (ГПО)** содержит несколько одно- и разнотипных дополняющих друг друга в технологии производства металлообрабатывающих ГПМ (сверлильно-фрезерных токарных шлифовальных и т.д.) или иных ГПЯ и машин, например, моечных, для полной обработки одной или группы деталей, связаны в одну систему на основе общего снабжения заготовками и инструментом с интегрированным управлением на базе ЭВМ, с возможностью встраивать в систему более высокого уровня.

**Гибкая производственная система (ГПС)** содержит ГПМ, ГПЯ и ГПО связаны в одну общую, управляемую от ЭВМ верхнего уровня, систему посредством общего автоматического снабжения заготовками и инструментами, с единой транспортно-накопительной системой и системой измерения, с возможностью встраивать в систему более высокого уровня, для полной комплектной обработки группы деталей какого либо изделия.

Каждый структурный компонент гибких систем технически представляет собой законченное целое и имеет свою локальную систему управления, что позволяет ему эффективно функционировать как индивидуально, так и в составе переналаживаемого производства и прежде всего в составе гибкого автоматизированного цеха (ГАЦ), состоящего из ГПМ, ГПЯ, ГПО и ГПС, объединенных единой автоматизированной системой управления (АСУ), предназначенной для изготовления изделий заданной номенклатуры. В состав ГАЦ могут входить также отдельно функционирующие неавтоматизированные участки.

На базе крупных ГАЦ можно организовать комплексно-автоматизированное переналаживаемое производство с использованием САПР, автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), автоматизированных систем управления производством (АСУП), автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), автоматических систем контроля и измерения (АСКИО) и других систем, функционирующих на базе современных CALS-технологий.

## **5.2. Гибкие производственные ячейки (ГПЯ). Особенности компоновки.**

ГПЯ для токарной обработки, для сверлильно-фрезерной и расточной обработки призматических деталей являются унифицированными и замкнутыми в себе высокопроизводительными производственными системами. Их отличительная особенность в том, что несколько однородных, могущих полностью заменять друг друга обрабатывающих центров ( $B1...Bn$ ) связаны в одну общую систему посредством общего автоматического снабжения заготовками и инструментами, а также интегрированного управления от ЭВМ (см. рис.5.1; рис.5.2.). В ГПЯ могут входить также измерительная (W) и моечная (M) машины.

Такая компоновка позволяет достичь наивысшей производительности и эффективности благодаря комплексной автоматизации процесса и обеспечивает:

- автоматическое снабжение заготовками и инструментами осуществляется при помощи рельсовых транспортных тележек во время работы станков и управление системой «Вернер 5СМ» с испытанным на практике программным обеспечением для управления, координации и контроля всех функций;

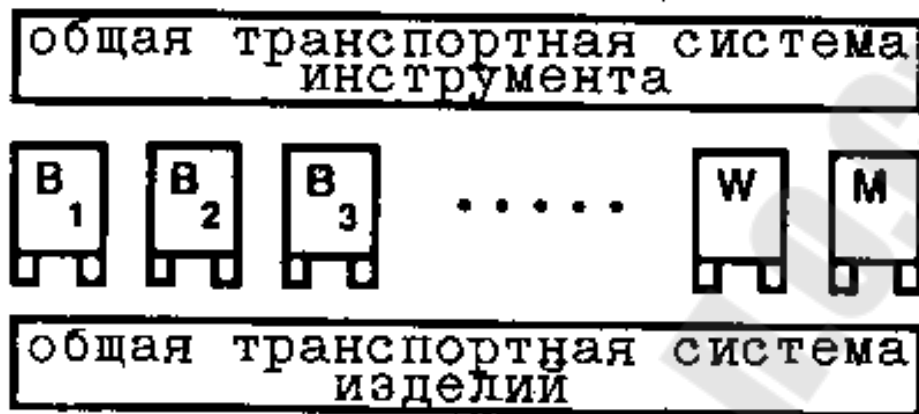
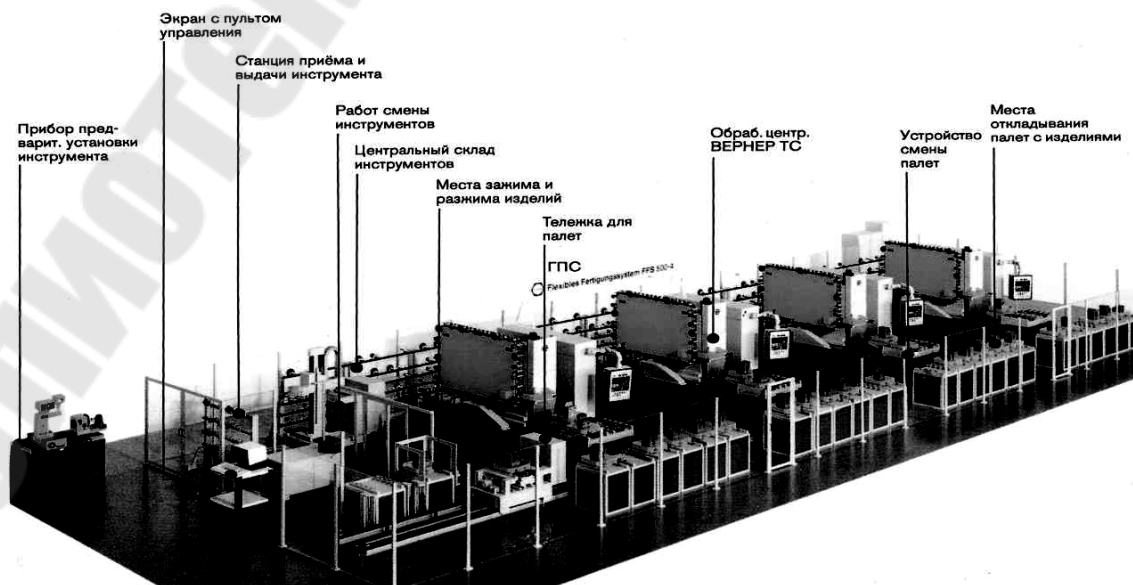


Рис.5.1. Структурная схема гибкой производственной ячейки.

- простое обслуживание в режиме диалога на дисплее при помощи техники меню, наглядное подразделение экрана на поля и легко доступная информация открытым текстом;

- центральное управление на входе системы с рабочими местами

для наладки и переналадки, терминалом с дисплеем, станцией ввода и вывода инструментов и устройством для предварительной установки инструментов. Благодаря модульной конструкции системы и управления ЭВМ возможна поэтапная реализация технологии ГПС, расширение системы, приспособливание к специфическим требованиям пользователя и реализация самых различных концепций системы;



*Рис.5.2. Управляемая с помощью ЭВМ гибкая производственная ячейка «ГПС500-4» фирмы «Вернер» с 4 обрабатывающими центрами и автоматическим снабжением заготовками и инструментами.*

-

- автоматическую обработку изделий на нескольких однотипных взаимно заменяющихся станках при гибком соединении потока материала, снабжении инструментами и интегрированном управлении при помощи ЭВМ.

Таким образом, ГПЯ представляют собой автономные, практически независимые от других устройств обработки системы. Интегрированные составные части системы согласованы, как по своей конструкции, так и по функциям. Этими компонентами являются обрабатывающие центры, система накопления и транспортировки деталей, система снабжения инструментами, управление системой, а также в качестве дополнительных устройств: машины для мойки и координатно-измерительная машина, станок для подготовки технологических баз или прибор измерения инструмента.

Независимость обслуживающего персонала от такта работы станков, обусловлена наличием накопителя паллет с зажатými в приспособлениях заготовками и готовыми изделиями. В стандартных исполнениях палеты для изделий хранятся на местах ожидания, расположенных вдоль линейного пути перемещения транспортных тележек. Количество мест ожидания, а также временем обработки всех деталей, закрепленных на палетах в местах ожидания, определяется временем в течение которого установка может работать без обслуживающего персонала. Например, если такт линии составляет одна деталь в час и в 3-ю смену ГПС работает в малолюдном режиме, то необходимо иметь как минимум девять палет с зажатými заготовками плюс одно пустое палетоместо для приема обрабатываемой детали.

### **5.3. Области использования ГПЯ**

ГПЯ находят применение в особенности при обработке мелко- и среднесерийных деталей. Целью их применения является изготовление широкого спектра деталей. Производятся партии изделий наибольших размеров, в соответствии с потребностью и условиями наладки и ритмичности производства. Это обуславливает постоянно изменяющуюся последовательность заготовок.

Для структуры и работы ячейки характерны:

- одновременное управление большим количеством производственных нарядов (заданий) (синхронная работа);
- непосредственная передача программ ЧПУ и данных по инструменту между управлением ячеек и управлениями станка УЧПУ;
- автоматическая и своевременная смена инструмента на станках с ЧПУ в полезное машинное время.

При этом преследуется цель перехода на партию обработки новых деталей без дополнительной подналадки и непрерывном производственном процессе обработки деталей. Это достигается за счет своевременной и целенаправленной смены инструмента. Заблаговременно, до истечения периода стойкости инструмента или перед сменой новой партии других изделий из магазина станка с ЧПУ забираются

только те инструменты (автоматически), которые изнашивались и не понадобятся для обработки новой партии других деталей. На смену этому циклу вводятся вновь понадобившиеся инструменты в рамках очередности их применения. Это все происходит в реальном масштабе времени, что позволяет непосредственно учитывать актуальные в данный момент циклы. Такая смена инструмента производится одновременно с параллельно протекающим процессом обработки, не приводя, как правило, к остановке в работе. Способ смены инструмента роботом со склада имеет большое преимущество в том, что значительно уменьшает инструментальные фонды и существенный недостаток – система сложна и дорога.

Большое количество работающих на этой основе уже реализованных ГПС показала, что:

- автоматизация в малодоступной для рационализации области производства мелких и средних серий стала возможной и успешно реализуется;
- применение ячеек лишь с двумя обрабатывающими центрами экономичнее по сравнению с отдельными станками;
- ячейки с оптимальным расширением до шести обрабатывающих центров зарекомендовали себя в работе как хорошо функционирующие, надежные и рентабельные;
- на практике удалось достичь максимального использования времени загрузки, причем наряду с названными критериями значительную роль сыграло производство с малым числом обслуживающего персонала в третью смену, а также продолжение работы во время перерывов.

Типичными пользователями ГПЯ являются прибора- и аппаратостроение, станкостроение и специальное станкостроение, а также электромашиностроение, транспортное машиностроение, производство двигателей. Ассортимент деталей охватывает все виды рычагов, крышек, фланцев, корпусов коробок передач и двигателей, которые автоматически изготавливаются обрабатывающими центрами в мелко- и среднесерийном производстве. Как правило, объем наряда (задания) составляет от 5-100 деталей, которые повторяются в разных вариантах. Для полной обработки некоторые детали приходится перезакреплять по два или даже три раза.

Поскольку благодаря автоматическому, управляемому от ЭВМ снабжению инструментами стала возможна смена обработки партий деталей без подготовительного времени, имеется возможность рентабельно производить партии изделий минимальных размеров, что позволяет значительно повысить ритмичность производства, уменьшить объемы незавершенного производства на 20%.

Кроме того, выявляются и другие преимущества, например, значительное снижение организационных помех, более рациональное использование оборудования, а также повышение качества производства. По сравнению с использованием не связанных между собой машин экономия, достигаемая за счет сокращения издержек производства, достигает 20-30%.

#### **5.4. Гибкие производственные острова (ГПО). Особенности компоновки.**

ГПО предназначены для полной автоматической обработки деталей в средне- и крупносерийном производстве. Характерным признаком ГПО является то, что несколько одно- и многотипных дополняющих друг друга в технологии производ-



ства металлообрабатывающих машин связаны в одну систему на основе общего снабжения заготовками и инструментом с интегрированным управлением на базе ЭВМ. (рис.5.3), (рис.5.4).



Рис.5.3. Структурная схема гибкого производственного острова.

Такая структура позволяет производить автоматическую полную обработку заготовок на взаимно заменяющихся или дополняющих друг друга станках при гибкой связи потока материала, снабжения инструментами и интегрированном управлении при помощи ЭВМ.

Например, ГПО (рис.5.4.) состоит из двух обрабатывающих центров, трех вертикально-токарных станков, хонинговального и одной координатно-измерительной машины, а также системы снабжения заготовками инструментом. Кроме того, в ГПО можно включать также многошпиндельные обрабатывающие центры со сменными многошпиндельными головками, моечные машины, роботы для зачистки, например, заусенцев, установки термической обработки с ЧПУ для закалки направляющих или сварочные станции.

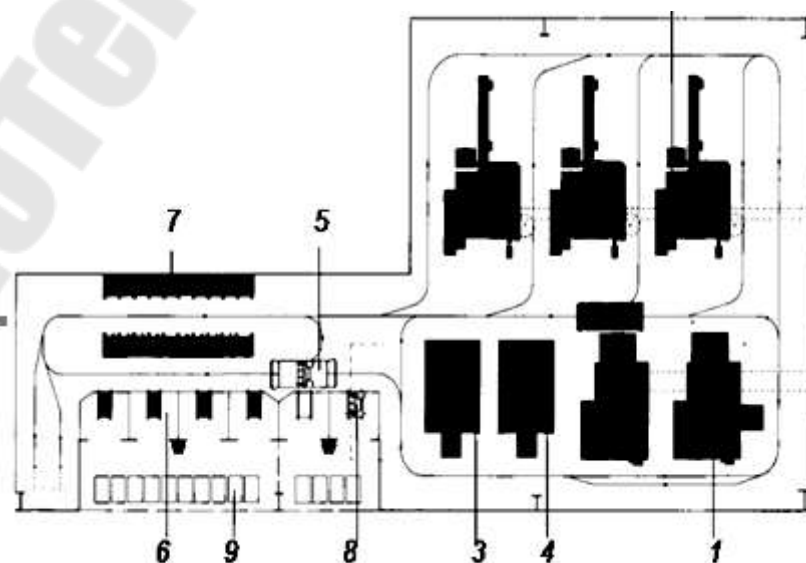


Рис.5.4. Компоновка оборудования ГПО, состоящего из обрабатывающих центров и транспортного оборудования: 1 — обрабатывающие центры; 2 — вертикально-токарные станки; 3 — хонинговальный станок; 4 — измерительная координатная машина; 5 — индуктивная тележка для транспортировки деталей и инструментов; 6 — места установка деталей; 7 — накопители палет для изделий; 8 — место подготовки инструмента; 9 — склад хранения заготовок и готовых деталей

На рис.5.5. приведен пример компоновки ГПО для деталей типа «тел вращения» фирмы «Вернер» ФРГ, которая входит в основную ее концепцию и многократно применялась на практике. Ниже приведен перечень коммуникаций, транспортно-складских устройств, металлообрабатывающего оборудования и др. устройств, входящих в ГПО.

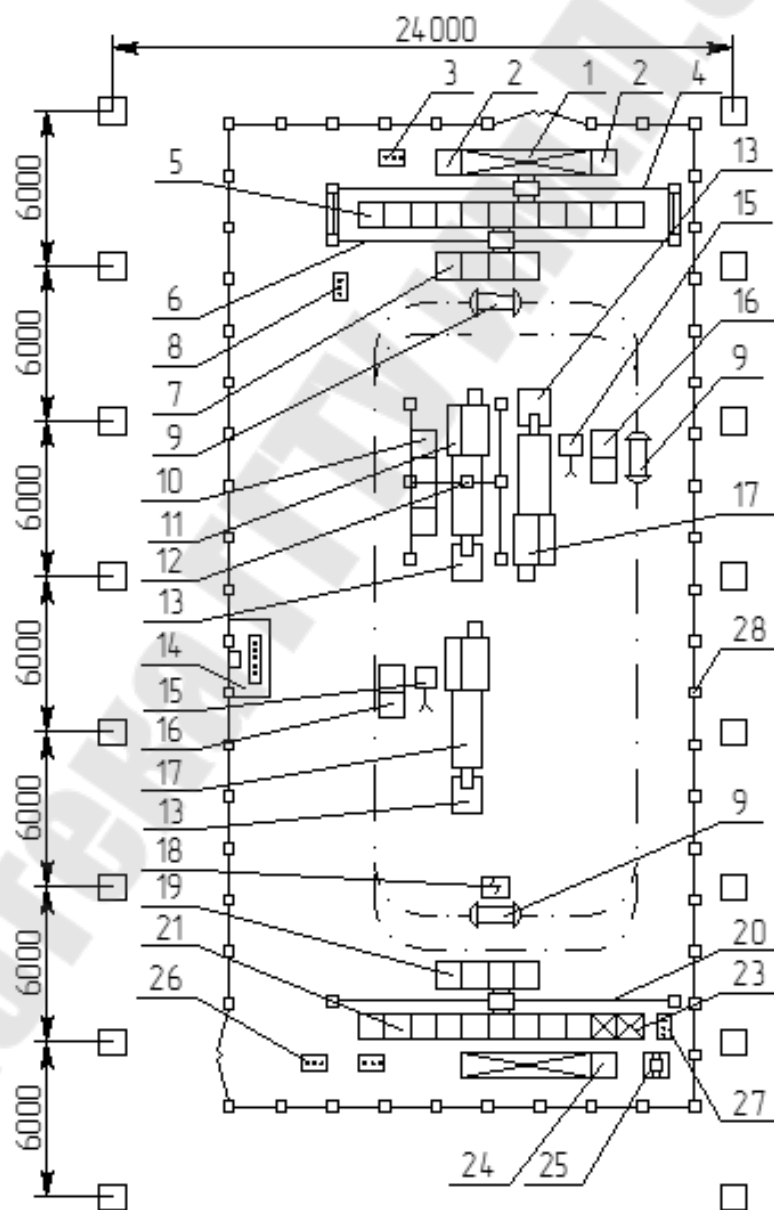


Рис.5.5. Пример компоновки ГПО для обработки деталей типа «тел вращения».

На рисунке обозначены: 1-Стеллаж для приемки-выгрузки заготовок и готовых деталей.

2-Приемные места загрузки-выгрузки поддонов с заготовками и готовыми изделиями.

3-Пульт ручного управления краном-штабелером поз.4.

4-Кран -штабелер для загрузки-выгрузки заготовок и готовых деталей.

5- Склад автоматизированный стеллажный.

6-Кран штабелер для загрузки-выгрузки заготовок и готовых деталей.

7-Четырехместный накопитель палет.

8-Пульт ручного управления краном штабелером поз.6.

9 – Безрельсовая транспортная тележка.

10-Четырехместный накопитель палет.

11-ГПМ(Токарный многооперационный обрабатывающий центр с противощпинделем).

12- Портальный робот.

13-Передвижная тара для стружки.

14-Центральный пульт управления ячейкой.

15-Напольный робот.

16-двухместный накопитель палет.

17-ГПМ(Токарный многооперационный обрабатывающий центр)

18-Станция для зарядки робокар.

19- Четырехместный накопитель палет.

20-Кран штабелер для загрузки-выгрузки палет с инструментальной оснасткой и режущим инструментом.

21- Склад автоматизированный стеллажный.

22 - Стеллаж для приемки-выгрузки инструментальной оснастки и режущего инструмента.

23 - Приемные места загрузки-выгрузки поддонов с инструментальной оснасткой и режущим инструментом.

24 - Место для монтажа и наладки сборного инструмента и оснастки.

25 - Прибор для измерения и наладки инструмента на размер вне станка.

26 - Пирамиды для ручного транспортирования оснастки и инструмента.

27- Пульт ручного управления краном -штабелером поз.21.

28- Ограждение.

Заготовки поступают в заводской таре(ящики) на приемный стеллаж 1 и вручную выкладываются на поддоны(палеты) 2 строго ориентировано горизонтально или вертикально в зависимости от соотношения длины и диаметра. Для этого поддоны должны быть оснащены призматическими ложементами для ориентации заготовок как горизонтально, так и вертикально. Пустые поддоны доставляются со склада 5 на места загрузки-выгрузки 2 с помощью крана-штабелера 4 и отправляются с его помощью обратно с загруженными заготовками.

Управление краном-штабелером 4 осуществляется с пульта 3 в ручном или полуавтоматическом режиме. Поддоны на складе, на приемных местах загрузки-

выгрузки и во время перемещения краном-штабелером, находятся в строго сориентированном положении и базируются на базовых пальцах.

После перемещения поддонов на склад, процесс обработки производится полностью в автоматическом режиме и оканчивается доставкой поддона с готовыми деталями на склад.

Со склада 5 поддоны с заготовками с помощью крана-штабелера 6 поступают на накопитель поддонов 7 также в строго ориентированном положении, для чего предусмотрено их ориентация и базирование на приемных местах с помощью базовых подвижных пальцев. Количество мест на накопителе 7 зависит от скорости транспортной тележки 9, время такта системы, расстояний транспортирования.

Далее поддоны 7 транспортируются с помощью транспортных тележек 9 к пристаночным накопителям поддонов 10, 16,... и с помощью перегрузочных устройств тележек перемещаются на пристаночные накопители, где они ориентируются и базируются с помощью перемещающихся базовых пальцев. Портальные роботы 12, напольные 15 производят загрузку заготовок и выгрузку деталей из зоны обработки ГПМ 17. ГПМ желательно размещать в порядке следования операций обработки детали, чтобы избежать обратного движения деталей, а размещение ГПМ должно быть таким образом, чтобы пути перемещения транспортных тележек должны быть минимальными.

Для эффективного использования ГПО очень важно стремиться к минимальному времени переналадки ГПО при обработке новой детали. Это время равно  $T_{пз}/n$ , где:

$T_{пз}$  – подготовительно-заключительное время.

$n$ -количество деталей в партии.

Основу этого времени составляет время инструментальной переналадки при переходе от обработки одной детали к другой. Поэтому организация быстрой смены режущего инструмента является основной задачей. Для этого предусмотрен автоматизированный склад 21, на котором хранятся все комплекты инструмента, необходимые для обработки деталей, обрабатываемых на ГПО, а их число наименований может достигать до 100. При появлении новой детали в группе на склад поступает и комплект инструмента для ее обработки на стеллаж 22. Некоторые инструменты требуют сборки: например монтаж хвостовиков в оправках для сверлильно-фрезерных работ, монтаж сверл,

фрез, метчиков в цанговые оправки, монтаж режущих пластинок и т.д. Для этого предусмотрено место для наладки и монтажа инструмента и оснастки 24. Здесь производят замеры параметров инструмента(длины, диаметры, вылет) и данные по сети LAN пересылаются в память УЧПУ модулей, где они будут использованы. После этого блоки и оправки укладываются на поддоны в ложементы и загружаются в ручном режиме на склад с помощью крана-штабелера 20. Место их расположения хранится в памяти локальной ЭВМ 27 и центральной ЭВМ 14. Для каждой детали существует карта наладки специального и универсального инструмента.

По окончании обработки деталей одного наименования с центральной ЭВМ **заблаговременно** поступает команда на доставку комплекта инструмента для обработки новой детали к месту выполнения соответствующей операции. Необходимый

инструмент с помощью крана-штабелера 20 выгружается на накопитель 19 и с помощью транспортной тележки транспортируются к пристаночным накопителям. Замена блоков, оправок может производиться вручную или автоматически с помощью робота, если конструкция станка это позволяет. Для этого необходима система распознавания роботом оправок, например с помощью штрих-кодов, что значительно увеличивает эффективность ГПО.

На рис.5.6 приведен пример компоновки ГПО для корпусных деталей фирмы «Вернер» ФРГ. Специфика обработки корпусных деталей заключается в том, что детали закреплены на палетах-спутниках, которые привязаны к конкретным станкам и хранятся на автоматизированном складе 9. На этом же складе хранится и оснастка(приспособления) для закрепления и базирования корпусных деталей. В большинстве своем палеты-спутники перемещаются рельсовыми транспортными тележками 11 со скоростью доходящей до 100м/мин. Рельсовые транспортные тележки доставляют палеты-спутники к предстаночным накопителям 8 и выполняют роль перегружчика палет-спутников с предстаночных накопителей 8 на приемные устройства смены палет-спутников станков 16.

Инструментальная оснастка хранится, как правило, на отдельном складе 4. Ее наладка производится аналогично как и для деталей типа «тел вращения», описанных выше и может меняться вручную или с помощью робота-манипулятора 22, управляемого от ЭВМ.

В первом случае, инструменты после настройки их на приборе 2, с помощью пирамиды для ручного транспортирования оснастки и инструмента 20, перемещаются к санкам для замены инструмента при наладке станка на новую деталь.

Во втором случае инструмент загружается вручную на стеллажи станция для ввода инструмента в эксплуатацию 23. Далее с помощью робота-манипулятора 22, инструмент автоматически меняется на станке при переналадке на обработку новой детали.

Необходимо отметить, что при обработке корпусных деталей кодируется инструмент с помощью магнитных чипов и распознается УЧПУ с помощью устройств(строчных камер), встроенных в станке.

Замена инструмента с помощью ЭВМ имеет преимущества перед ручным способом:

- смена происходит быстрее,

- ЭВМ хранит в памяти остаточный ресурс стойкости инструмента и не производит смену универсального инструмента, который пригоден для обработки новой детали с не истекшим ресурсом стойкости, что приводит к значительной экономии.

Одним из недостатком является то, что при необходимости изменения направления рельсового пути, необходимы перегрузочные устройства 19 и дополнительно рельсовые тележки 11.

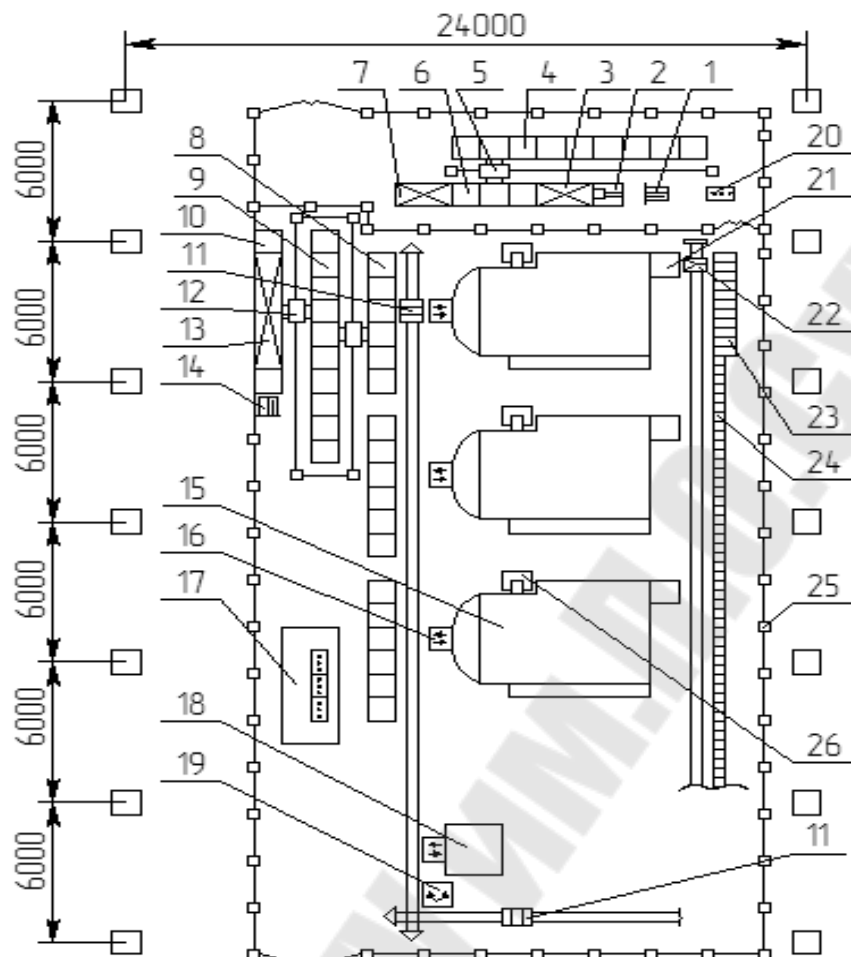


Рис. 5.6. Пример компоновки ГПО для обработки корпусных деталей.

1-Пульт ручного управления краном штабелером поз.5.2-Прибор для измерения и наладки инструмента на размер вне станка.3-Место для монтажа и наладки сборного инструмента и оснастки.4- Склад автоматизированный стеллажный для хранения инструмента.5- Кран- штабелер для загрузки-выгрузки поддонов с инструментальной оснасткой и режущим инструментом.6- Приемные места загрузки-выгрузки поддонов с инструментальной оснасткой и режущим инструментом.7- Стеллаж для приемки инструментальной оснастки и режущего инструмента.8- Линейный накопитель палет.

9- Склад автоматизированный стеллажный для хранения заготовок, готовых изделий и технологической оснастки.10- Приемные места загрузки палет заготовками и выгрузки готовых деталей краном-штабелером.11-Рельсовая транспортная тележка.12-Кран-штабелер загрузки-выгрузки палет с заготовками и готовыми деталями. 13- Приемные места выгрузки заготовок и загрузки готовых деталей.14- Пульт ручного управления крано- штабелером поз.12. 15-ГПМ (Многооперационный обрабатывающий центр).16-Приемное устройство для перегрузки палет .17 Центральный пульт управления ГПО.

18.-Моечная машина.19-Поворотное устройство для перегрузки палет с одной рельсовой транспортной тележки на другую.20. Пирамиды для ручного транспортирования оснастки и инструмента. 21-Цепной магазин для хранения инструмен-

та.22-Робот-манипулятор для автоматической замены инструмента.23-Станция для ручного ввода инструмента в эксплуатацию.24-Стеллаж накопитель инструмента.25-Ограждение.26-Передвижная тара для стружки.

### **5.5. Области использования ГПО.**

Техническими областями применения ГПО являются серийное машиностроение и приборостроение, транспортное машиностроение и производство двигателей, а также их предприятия смежники. В ассортимент изделий входят узлы коробок передач, двигателей, насосов, или гидравлических узлов, потребность в которых, например, определяется заданным еженедельным или ежедневным числом изделий, которые изготавливаются непрерывно, зачастую специально по заказу покупателя. Количество различных параллельно производимых изделий составляет максимально 5-20 видов. Время обработки составляет от 5 до 60 минут на каждое применение заготовки. В соответствии с этим различно и количество необходимых инструментов.

По сравнению с автоматическими линиями обработки издержки на приспособления зажима и палет для изделий, как правило, значительно ниже, поскольку в принципе на каждое крепление изделий используется лишь две паллеты. Что касается персонала, эта разница незначительна. Дополнительные издержки на ГПО составляют по сравнению с автоматическими линиями обработки около 20%. Более выгодные и гибкие характер производства и возможности использования, означающие, как правило, более высокую степень готовности и более низкую степень замораживания капитала для находящихся в обращении материалов и производственных средств. По сравнению со среднесерийным производством на отдельных машинах, не связанных друг с другом, автоматизация потока материалов и интегрированное управление процессом означает очевидное сокращение издержек на изделие до 20% и более.

### **5.6. Связанные гибкие производственные системы. Особенности компоновки.**

Связанные ГПС, состоят из ГПЯ и ГПО, а также из отдельных машин и рабочих мест с ручными процессами. ГПС образуют целостный, управляемый от ЭВМ, логический блок с вышестоящей системой снабжения заготовками и инструментами, а также интегрированным управлением выполнения заданий (нарядов). При этом отдельные автономные системы в соответствии со своим машинным оборудованием могут выполнять различного рода производственные задачи. Так, например, одна ГПЯ может быть предназначена для выполнения необходимых сверлильных и фрезерных операций или многошпиндельной сверлильной обработки, а один ГПО – для специальных расточных, фрезерных, токарных и финишной обработки, другие же ГПЯ – исключительно для токарной обработки. На основе модульной компоновки, согласно поставленным задачам из таких ГПС возможно постепенное создание автоматизированных заводов высокой гибкости на базе производства с интегрированными ЭВМ (СІМ).

Отличительной особенностью связанных гибких производственных систем заключается в наличии в их составе производственных островов, производственных ячеек, отдельных машин и ручных рабочих станций.

Они представляют собой целостный, управляемый при помощи ЭВМ, логистический комплекс с централизованным снабжением заготовками и инструментами, а также интегрированным автоматическим управлением с обратной связью.

Управление системой состоит из автономных, функциональных блоков управления, сопряжённых при помощи открытой, местной сети общего пользования.

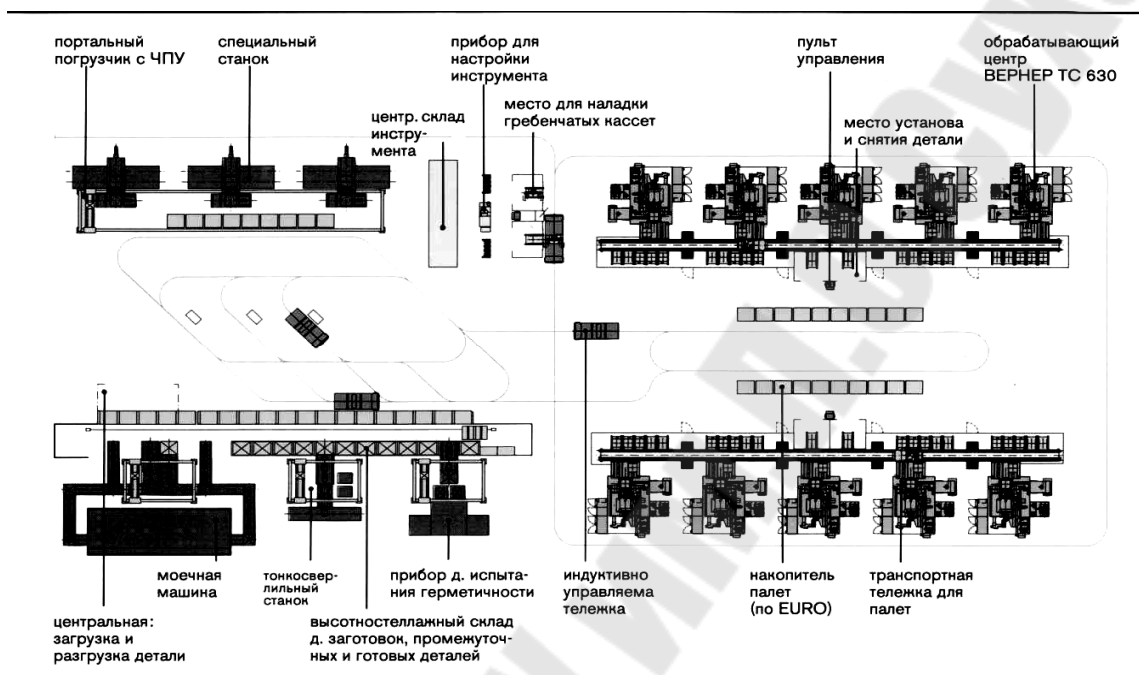


Рис.5.7. Связанная гибкая производственная система

Благодаря модулярной, ориентированной на поставленные задачи структуре всей системы предоставляется возможность создавать поэтапно гибкий автоматизированный завод на базе компьютерной интеграции производства («СІМ») в соответствии с конкретными требованиями и производственными заданиями.

На рис 5.5. представлена связанная ГПС, состоящая из ГПО, ГПЯ и отдельных станков, а также из систем снабжения заготовками и инструментами. Внутри ГПО загрузка заготовками производится через рельсовую тележку с управление от ЧПУ, а также портальным погрузчиком от ЧПУ. Транспортировка заготовок между загрузкой и выгрузкой палет к местам перегрузки палет на ГПМ производится посредством индуктивной транспортной системы. Та же транспортная система используется и для автоматической смены инструмента на обрабатывающих центрах. При этом инструменты транспортируются в гребенчатых кассетах (системы QTC), которые перегружаются с помощью индуктивной тележки или робокара в ценные магазины обрабатывающих центров с управлением от ЭВМ. Ручная подготовка гребенчатых кассет с предварительной настройкой инструмента происходит на центральном складе. Весь процесс установки и смены инструмента запускается и координируется со станции управления или со специального управления снабжением инструментами. Характерным признаком связанной ГПС является управление системы с автоматическими, различными по функции узлами управления, соединенными через разомкнутую местную сеть связи (LAN) с унифицированной шиной (рис.5.8.).



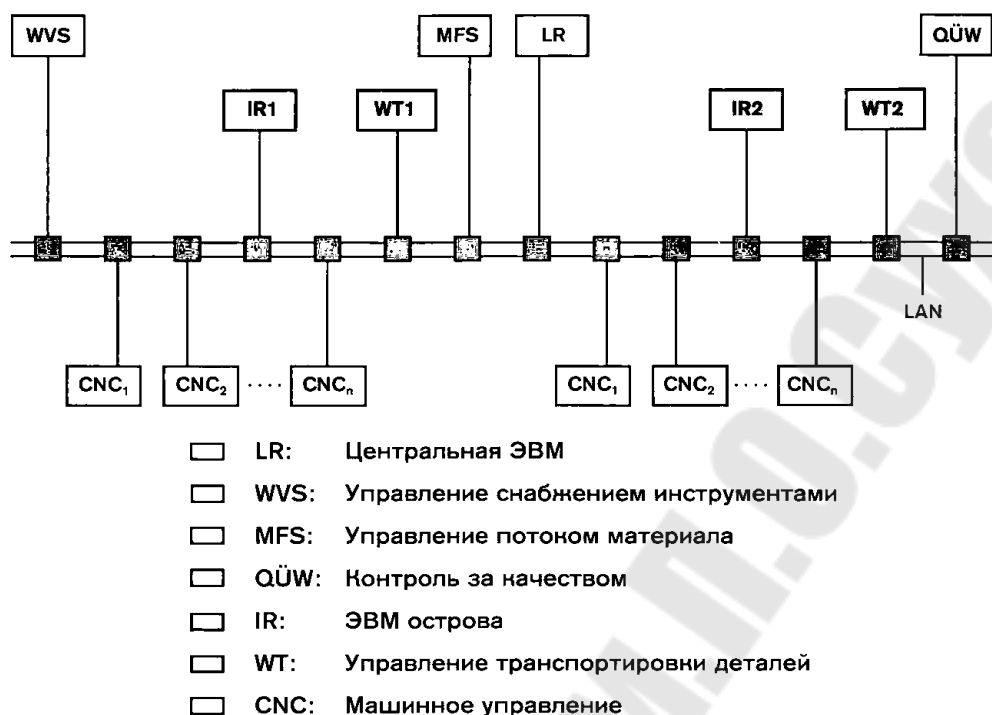


Рис.5.8. Связанная гибкая производственная система. Сопряжение вычислительных машин.

Управление системой обладает универсальной, функциональной структурой аппаратного и программного обеспечения, при которой связь между сопряжёнными вычислительными машинами осуществляется через местную коммуникационную сеть (LAN/MAP). Таким образом обеспечивается индивидуальное приспособление системы к различным вариантам спроса, расширение шаг за шагом и высокий коэффициент готовности системы. Управление островом и транспортом, а также управление централизованной системой снабжения инструментами и контроля за качеством осуществляются автономными, функциональными блоками управления, которые, с одной стороны, подключены непосредственно к цифровым управлениям станками с помощью ЭВМ, а также поддерживают коммуникацию между собой.

Таким образом, управление ГПО (IS), управление транспортировкой инструмента внутри ГПО (WT), вышестоящее управление снабжением инструментами (WVS) и управление потоков материалов (MFS), а также управление процессом контроля за качеством (QUW) представляют собой самостоятельные узлы управления, которые непосредственно с подключенными CNC, а также между собой могут осуществлять связь через системную шину (LAN). Центральная ЭВМ (LR) выполняет задачу вышестоящего контроля и координации, например, управляет производственными заданиями (нарядами), программами ЧПУ, рабочими планами, а также управляет подсистемами, планированием сроков и мощностей, и центральной обработкой эксплуатационных параметров. Такого рода сеть связанных между собой ЭВМ благодаря своей открытой структуре делает возможным индивидуальное согласование с различными видами потребности, а также все вышестоящие задачи организации и управления. Соединение всех относящихся к ГПО вышестоя-

щих компонентов ЭВМ и управлений через общую шину системы имеет значительные преимущества по сравнению со структурой шины ГПО и потому должно применяться во всех тех случаях, когда это позволяет имеющаяся плотность передачи данных. Все эти положения при известных условиях можно усовершенствовать за счет широкополосной передачи информации (параллельные интерфейсы), поскольку при этом возможна одновременная передача нескольких сигналов параллельно по времени через различные каналы частоты.

### **5.7. Области использования ГПС.**

На практике широко применяются связанные ГПС в основном в средне- и крупносерийном производстве. При этом речь может идти как о различных группах деталей, так и о разных технологических методах. Высокие производительность труда и качество являются важными особенностями компоновки и основными целями этих систем. Эти системы связаны с высокой гибкостью, характерной для конфигурации машин, транспортных средств, манипуляторов и склада, а также с модульными узлами управления на базе открытой сети связи ЭВМ производственных структур с интегрированными ЭВМ. К пользователям связанных ГПС относятся, прежде всего, транспортное машиностроение, производство двигателей, и передач с широким ассортиментом различного рода деталей в средне- и крупносерийном производстве: корпуса передач, двигателей, муфт, насосов, дифференциалов и подшипников, а также головки для цилиндров, крышки, консоли и крупные оси. За счет различных технологических методов

эти детали могут производиться в основном автоматически и готовыми к сборке, в условиях синхронизации по времени и объему партий.

По сравнению с автоматическими линиями, выполняющими определенные задания (обычно налажены на одну деталь), преимущество связанных ГПС заключается в их высокой гибкости в смысле возможностей переналадки и расширения, что особенно ясно проявляется при изменениях программ и в росте производительности труда. Многие осуществляемые на практике примеры показывают, что расширение подобного рода связанных ГПС целесообразно проводить постепенно шаг за шагом, то есть, как говорят англичане, «степ бай степ», немцы – «шрит цур шрит». Зачастую сначала вводится в эксплуатацию одна ГПЯ или ГПО с целью приобрести основополагающий опыт. При системном расширении большими преимуществами обладает открытая система ЭВМ, позволяющая производить расширения, как правило, постепенно и без вмешательства в программное обеспечение отдельных компонентов ЭВМ.

Один из примеров связанной ГПС (рис.5.9.) для комплексной обработки различных головок блока цилиндров, состоящей из трех производственных островов.

Связанная гибкая производственная система для комплексной обработки различных головок блока цилиндров, состоящая из трёх гибких производственных островов (ГПО), с одной станцией для зачистки и с одной установкой для автоматической сборки и испытания на герметичность. На ГПО снабжение заготовками происходит непосредственно при помощи портального манипулятора с ЧПУ.

Централизованные транспортные работы выполняются индуктивной транспортной системой.

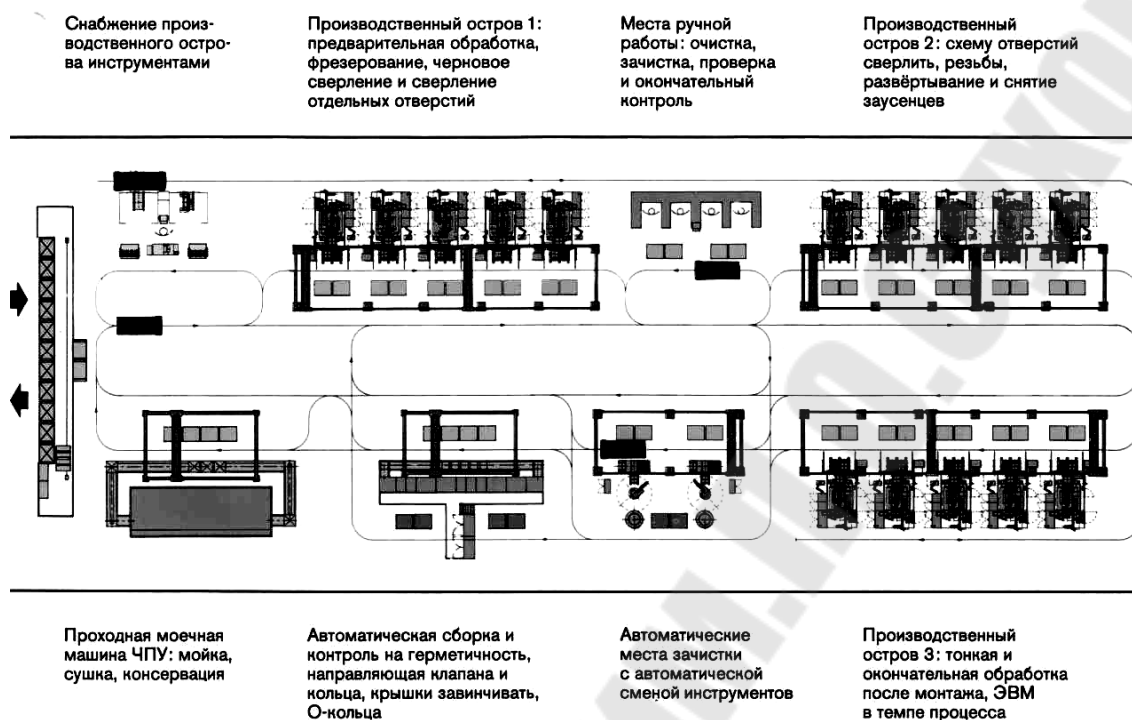


Рис.5.9. Связанная гибкая производственная система для обработки головок блока цилиндров.

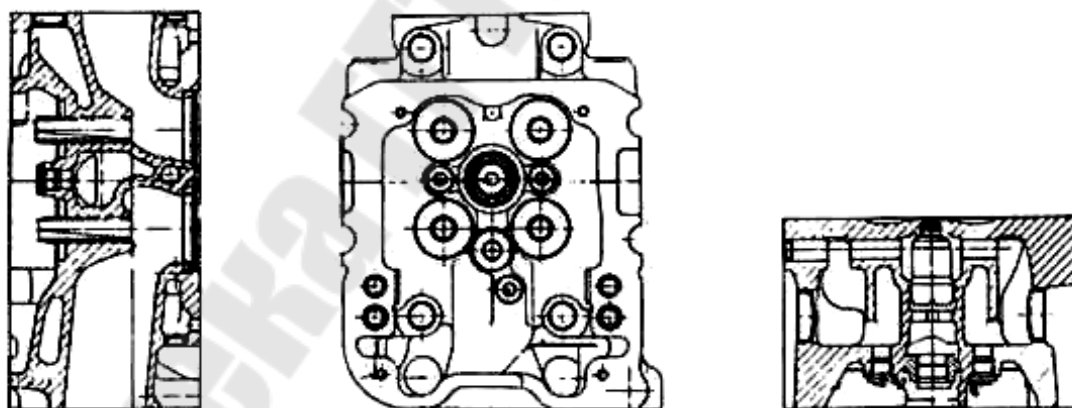


Рис.5.10. Производственная программа: четыре разных головки блока цилиндров, годовой выпуск 66000 деталей

## 6. ВЫБОР МОДУЛЬНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ И ПОДСИСТЕМ ГПС

### 6.1. Важнейшие функциональные компоненты ГПС

Основой различных системных концепций являются модульные компоненты, из которых может постепенно выстраиваться и расширяться система.

Важнейшими компонентами ГПС являются:

1) Гибкие производственные модули (ГПМ) (многооперационные обрабатывающие центры) с унифицированными интерфейсами, имеющие возможность связи, как с ЭВМ верхнего уровня по функции управления, так и с системами управления снабжением инструмента и палет.

2) Подсистема снабжения заготовками со склада и на склад готовых изделий, с трансманипуляторами и технологической оснасткой для крепления заготовок.

3) Подсистема снабжения инструментом со склада и на склад для накопления и хранения инструмента, с трансманипуляторами, инструментальной оснасткой с режущим инструментом.

4) Подсистема измерений и контроля за качеством готовых изделий и процессом обработки.

5) Подсистема управления производством от ЭВМ верхнего уровня.

## **6.2. Общие требования при выборе основного технологического оборудования и промышленных роботов в гибком автоматизированном производстве (ГАП)**

Выбор технических средств для гибкого автоматизированного производства — один из важнейших этапов, определяющих структурно-компоновочные решения, организационные и технологические возможности, эксплуатационные расходы и другие показатели производства.

Исходной информацией для выбора оборудования и промышленных роботов (ПР) являются сведения об изготавливаемых деталях и организационно-технологических условиях их изготовления.

Подбор и группирование деталей для изготовления на автоматизированном участке производят с учетом следующих характеристик:

1) Конструктивно-технологического подобия деталей, т. е. сходства по габаритным размерам, массе, конфигурации, характеру конструктивных элементов, требованиям к точности обработки и качеству обрабатываемых поверхностей, числу обрабатываемых поверхностей;

2) Максимальной степени завершенности маршрута обработки деталей на автоматизированном участке — без прерывания маршрута обработки для выполнения каких-либо специфических операций (термообработки, доводки и др.);

3) Подобия используемой оснастки и инструментов;

4) Наличия у деталей четко выраженных признаков ориентации, однородных по форме и расположению поверхностей для базирования в приспособлениях-спутниках или захвата захватными устройствами ПР.

Подобранная группа деталей с учетом годовой программы выпуска, размера и частоты повторяемости каждого типоразмера, числа переналадок должна обеспечить загрузку оборудования при двух- или трехсменной работе.

На основе подобранной группы деталей с учетом видов обработки и трудоемкости выбирают типаж требуемого оборудования, приспособлений, ПР, характер и маршрут транспортирования деталей. На этом этапе определяют компоновку автоматизированного производственного участка, проводят расчет

вместимости автоматизированного склада, числа спутников, оптимизацию пространственного расположения оборудования.

Ввиду многовариантности структурно-компоновочных решений проектируемого производственного участка многие его параметры целесообразно рассчитывать на ЭВМ с помощью специальных программ, предназначенных для этих целей. Автоматизированные производственные системы (АПС) относятся к большим техническим системам, характеризующимся наличием взаимосвязанных объектов, сложной связью информационных и материальных потоков, возникновением в процессе работы различных случайных воздействий. Расчет на ЭВМ методом имитационного моделирования дает возможность получить основные характеристики различных компоновок производственных систем с учетом всех возможных случайных производственных ситуаций.

Для определения состава оборудования, включаемого в автоматизированные переналаживаемые системы, необходима проработка типовых процессов (ТП) всех деталей, обрабатываемых в системе. В первую очередь разрабатывают ТП на деталь, имеющую наибольшее число обрабатываемых поверхностей. При этом намечают первоначальную специализацию оборудования и выявляют необходимые технологические характеристики для оборудования с ЧПУ. Технологические процессы для остальных деталей группы строят в соответствии с принятым типовым маршрутом и с учетом намеченной специализации оборудования.

Исходя из разработанных ТП, выявляют технологические характеристики станков, на основании которых производят подбор станков из имеющегося парка (в соответствии с каталогом станков с ЧПУ) или заказывают и используют специализированное оборудование.

Так как наиболее распространенным способом изготовления изделий в машиностроении является обработка резанием, где наибольшее применение находят металлорежущие станки, которые будут являться в первую очередь объектом нашего внимания.

К встраиваемым в ГПС металлорежущим станкам должны предъявляться нижеследующие требования:

- 1) Металлообрабатывающие многооперационные центры, являющиеся компонентами ГПС, должны иметь функции возможности обмена информацией о состоянии изделий и инструментов с ЭВМ верхнего уровня в соответствии со стандартным протоколом взаимного обмена информации. Они должны располагать унифицированными интерфейсами для передачи информации по управлению движением изделий, инструментов и могут быть в любой момент задним числом встроены в ГПС. Данными функциями должны обладать в первую очередь УЧПУ станков, а также сама конструкция этих станков должна обеспечивать возможность их встраивания в ГПС. Пример этому, станки мод. TC500, 630, 800, 1000 фирмы «Вернер».

- 2) Должны обладать герметичностью рабочей зоны с хорошим доступом к обрабатываемой детали, что дает надежную защиту оператора от стружки и брызг СОЖ, что особенно имеет важное значение для функционирования без перебоев.

- 3) Должны обеспечивать автоматизированную уборку стружки не требующую вмешательства человека. Для уборки стружки применяют различные механизмы с рабочей зоны: щетки, скребки, шнеки, смыв потоком эмульсии.

4) Все функции обрабатывающих центров должны управляются от программ автоматически.

5) Должны иметь жесткие шпиндели в прецизионных опорах, которые приводятся во вращение электродвигателями переменного тока через двух-, трехступенчатую коробку передач с непосредственным программированием числа оборотов и углового позиционирования шпинделя от ЧПУ, для чего на ось шпинделя непосредственно крепятся фотоимпульсные датчики углового положения.

6) Перемещения по осям должны производиться с помощью прецизионных шарикоподшипниковых пар и контролироваться линейными прецизионными фотоимпульсными датчиками.

7) Магазины для инструмента, как правило, должны иметь от 40 до 160 мест, иметь исполнение в большинстве случаев цепного типа или в виде роботизированного склада.

8) Смена заготовок и готовых изделий должна производиться устройством смены палет, смена инструмента с помощью манипулятора автоматически с цепного магазина. Оба устройства должны иметь возможность перегрузки заготовок, готовых деталей, инструмента в транспортно-накопительную(ные) систему(мы) подачи изделий и инструмента.

В ГПС могут использоваться обрабатывающие центры с автоматической сменной инструментальных коробок (мультицентры). Такие мультицентры, сохраняя высокую гибкость, способствуют многократному увеличению производительности. На таких станках производятся постоянно повторяющиеся комбинации отверстий гладких и с резьбами, а также фрезерные и расточные работы. Достоинства таких мультицентров в достаточной гибкости, которая проявляется в быстрой приспособляемости к различным заданиям по обработке деталей и высокой производительности. По гибкости мультицентры выше агрегатных станков и ниже обрабатывающих центров, работающих одним инструментом.

Станочные столы могут выполняться, как с фиксированным повтором на определенный угол с помощью торцевых муфт типа Хирт, так и с поворачивающиеся по программе от ЧПУ на любой угол с последующей фиксацией за счет сил трения.

При подборе станков, необходимо учитывать возможность их встройки в ГПС. Для этого у них должны быть однотипные автоматические устройства для загрузки и закрепления спутников, по-возможности одинаковые устройства ЧПУ и достаточная вместимость магазинов инструментов. Таким образом, в состав АПС включают станки с ЧПУ, параметры которых обеспечивают реализацию ТП обработки определенной группы деталей, самой сложной, содержащей все поверхности для обработки, имеющиеся в других группах. Как правило, сюда входит станок для подготовки технологической базы.

Необходимое количество основного оборудования, проектируемого участка подсчитывают отдельно по номенклатуре и каждому типоразмеру с учетом затрат штучного времени по отдельным операциям технологического процесса, выполняемого на данном оборудовании, программы и номенклатуры выпускаемых деталей или изделий.

### 6.3. Выбор основного технологического оборудования

Анализ многообразия деталей, подлежащих автоматизированной обработке, и известных автоматизированных участков (АУ) показывает, что можно выделить два основных типа производственных участков, отличающихся оборудованием, средствами автоматического транспортирования, структурно-компоновочными решениями:

- 1) Автоматизированные участки для изготовления деталей типа тел вращения (валов, дисков, фланцев, шестерен).
- 2) Автоматизированные участки для изготовления корпусных деталей.

Технологический маршрут изготовления деталей типа тел вращения обычно состоит из предварительной или окончательной токарной обработки, сверлильно-фрезерных операций, термообработки и шлифования. Для автоматизированного изготовления таких деталей неприемлем способ закрепления их в приспособлениях-спутниках.

Это связано с тем, что детали типа тел вращения при обработке закрепляются в патронах и получают вращение вокруг оси. Поэтому основной путь автоматизации процесса изготовления деталей типа тел вращения это использование станков с ЧПУ и промышленных роботов. Заготовки располагают на призмах или пазах в накопителях (поддонах) без жесткого закрепления.

Выбор токарных станков с ЧПУ производят в зависимости от габаритных размеров и массы заготовок с корректировкой на точностные возможности оборудования. Перечень токарных станков с ЧПУ для обработки деталей типа валов и дисков приведен в литературе [2].

Фрезерные, сверлильные, протяжные, зубообрабатывающие, шлифовальные станки дополняют токарные и их выбирают в зависимости от технологических маршрутов изготовления группы деталей. Совместить токарную обработку с фрезерованием, сверлением, растачиванием деталей типа тел вращения позволяют токарные многоцелевые станки. Эти станки имеют в одной из позиций или в нескольких позициях привод вращения инструмента, например сверла, пальцевых или торцевых фрез, позволяющих на деталях типа тел вращения сверлить отверстия перпендикулярные их оси вращения, фрезеровать лыски. Перечень токарных многоцелевых станков с ЧПУ для обработки деталей типа валов и дисков приведен в литературе [2].

Одна важная особенность этих станков — они должны иметь функцию осевой ориентации шпинделя, позволяющую ориентировать шпиндель под заданным углом и удерживать или фиксировать его в этой позиции во время обработки.

Автоматизированные участки и цеха для обработки корпусных деталей состоящие из ГПЯ, ГПО, объединенные в связанные ГПС в основном состоят из многооперационных станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр», объединенных подсистемами автоматической транспортировки деталей с автоматизированным складом и снабжения инструментами. В автоматизированных участках также используют координатно-измерительные, моечные машины и другое дополнительное оборудование.

Конструктивно-технологические характеристики корпусных деталей и рекомендуемые модели серийно изготавливаемых многооперационных станков с ЧПУ производства стран СНГ приведены в литературе [2].

При большой программе выпуска деталей в ГПС используют станки с ЧПУ со сменными многошпиндельными головками: мультицентры. Такие станки собирают из комплекта унифицированных узлов, включающего станину, силовой стол, привод главного движения, магазин сменных многошпиндельных головок. Многошпиндельные головки содержат несколько инструментов, которые за одну рабочую подачу одновременно производят обработку детали. На их конструкции подробнее остановимся ниже.

Корпусные детали в основном закрепляются в одноместных или многоместных приспособлениях-спутниках и транспортируются с помощью рельсовых или индуктивных тележек между станками и автоматическим складом.

Промышленные роботы для транспортирования корпусных деталей используют более редко, только в случаях, когда корпусные детали имеют небольшие габаритные размеры и развитые базы.

Приспособления-спутники имеют форму прямоугольной плиты, на верхней части имеется сетка резьбовых отверстий или Т-образные пазы и базовое центральное отверстие для базирования и закрепления технологических приспособлений, на которых закрепляются обрабатываемые детали, а нижняя часть имеет специальные направляющие и отверстия для базирования и зажима на салазках станка и фиксации на накопителях транспортных систем. Таким образом, приспособления-спутники имеют функцию не только станочного стола, но и приспособлений для транспортирования и хранения деталей на промежуточных столах накопителей палет.

#### **6.4. Гибкие производственные модули (ГПМ) для обработки корпусных деталей.**

##### **6.4.1. Основные технические характеристики ГПМ**

Гибкий производственный модуль (ГПМ) — система, состоящая из единицы технологического оборудования (обрабатывающий многооперационный центр), оснащенная устройством числового программного управления (УЧПУ) и средствами автоматизации технологического процесса (автоматическая смена инструмента и заготовок), которая автономно функционирует и ее можно встраивать в систему более высокого уровня. В модуль может входить обрабатывающий многооперационный центр с роботизированной или манипуляторной сменой инструмента и заготовок, имеющий возможность интеграции в погрузочно-разгрузочную и транспортно-накопительную системы, контрольно-измерительную систему и возможность управления от ЭВМ верхнего уровня.

К основным техническим характеристикам ГПМ относятся:

1) Класс точности. По стандартам РБ и РФ обозначается следующими буквами: П—повышенной точности; В—высокой точности; А—особо высокой точности, С—особо точные (прецизионные). По каждому классу точности и группе станков нормируется допустимая величина погрешности. Эта классификация используется в Беларуси и России и др. странах СНГ. При заказе ГПМ в странах



СНГ, точностные параметры ГПМ приводятся в приложении к руководству по эксплуатации (РЭ), а также в технических условиях на станок, где при заказе с ними можно предварительно ознакомиться.

При заказе станков в дальнем зарубежье необходимо знать, продавцы могут не придерживаются каких либо жестких регламентов и стандартов по точности, а исходят из конкурентных условий и требований рынка. Например, производители ФРГ базовый вариант сверлильно-фрезерно расточных станков средних габаритов с паллетами 500x500;600x600 по стандарту VDI (ФРГ) по точности позиционирования предлагают +/- 5мкм. Если необходима более высокая точность, то эти условия оговариваются в контракте и станок можно получить, как правило, за более высокую плату. Этот касается и всех других основных технических характеристик.

## 2) Технический уровень числового программного устройства (УЧПУ).

О техническом уровне УЧПУ можно судить по индексам, входящими в наименование модели станка: Ф1 – станки с цифровой индикацией (в том числе с предварительным набором координат); Ф2 – станки с позиционными и линейной интерполяцией по двум координатам; Ф3 – станки с контурными прямолинейными и криволинейными системами интерполирования одновременно по трем координатам; Ф4 – станки с универсальной системой управления для позиционно-контурной обработки по 4-м координатам и более. Технический уровень УЧПУ играет важную роль и ее возможности сказываются на производительности подготовки технологических программ (далее их будем называть управляющих) и качестве продукции. Современные УЧПУ, как правило, могут компенсировать погрешности тепловых деформаций несущей системы станка и шариковинтовых пар, погрешности износа инструмента по диаметру и длине, имеют сплайновую интерполяцию (оггибающий контур по указанным координатам с обозначением перегибов), визуальное программирование и многое др.

Число одновременно управляемых координат в ГПМ определяет траекторию движения инструмента относительно заготовки. Если бы инструмент представлял материальную точку, то для обработки любой поверхности достаточно было бы трех координат. Однако в связи с тем, что инструмент является твердотельным объектом и имеет габариты, нужны дополнительно еще 2 координаты. Для того чтобы обработать, например, поверхность в виде сферы, описанную изменяющимися в пространстве 3-мя координатами, необходимо иметь фрезу, имеющую при вершине заточку в виде сферы и постоянно при обработке сферы поддерживать ось вращения фрезы перпендикулярно плоскости (дополнительные 2 координаты), касательной к обрабатываемой сфере в точке обработки. На практике на 5-ти координатных станках можно получить любые криволинейные поверхности.

При сложной обработке на фрезерных, токарных и многоцелевых станках используют УЧПУ с непрерывным (контурным) управлением одновременно по нескольким координатам. Существуют УЧПУ с управлением одновременно по трем, четырем и пяти координатам. Последние используются в станках со сложной траекторией инструмента. В токарных станках обычно применяются УЧПУ с одновременным управлением по двум координатам, а в токарно-револьверных и токарно-карусельных – по трем координатам.

Обязательным требованием к УЧПУ, управляющим ГПМ, является наличие стандартного унифицированного интерфейса связи с ЭВМ верхнего уровня для управления транспортными подсистемами снабжения инструмента и изделий, а также информацией о состоянии других функциональных систем ГПМ согласно согласованным протоколам обмена информацией (время простоев, причины отказов и сбоев, и др.)

#### **6.4.2. Важнейшие технические характеристики модуля.**

Для вертикальных сверлильно-фрезерно расточных станков:

- наибольший диаметр сверления, максимальное число оборотов шпинделя, скорость быстрых перемещений, время смены инструмента от стружки до стружки и размеры стола .

Для горизонтальных расточных станков:

- диаметр расточного шпинделя, максимальное число оборотов шпинделя, скорость быстрых перемещений, время смены инструмента от стружки до стружки и размеры стола.

В основных параметрах указаны параметры, которые в основном влияют на производительность ГПМ. Для базовых моделей в современных ГПМ частота вращения шпинделей достигает 6-8тыс. об/мин, скорости быстрых перемещений 40-60м/мин и более, время смены инструмента от стружки до стружки 1,5-3сек. Эти показатели во многом зависят от габаритов станков.

Наличие инструментального магазина повышенной емкости 40-140 позиций является обязательным условием функционирования ГПМ для обработки корпусных деталей. Для поддержания непрерывного цикла обработки на ГПМ необходима автоматическая смена инструмента (АСИ), резервирование инструмента, автоматическая или ручная система замены в магазине изношенного инструмента и возможность управление этим процессом с помощью ЭВМ верхнего уровня. По этому одним из основных параметров ГПМ является время смены инструмента от стружки до стружки и определяется оно расчетным путем по стандартной методике для определенных станков. Это время является временем холостых ходов и учитывается при расчетах производительности ГПМ, его важно знать для расчета производительности. Конструкторы при проектировании новых моделей всегда ориентированы на его уменьшение.

Наличие устройства автоматической загрузки заготовок, является также обязательным условием функционирования ГПМ. Для поддержания непрерывного цикла обработки на ГПМ необходима автоматическая смена заготовок (АСЗ). При этом она должна иметь возможность принимать с транспортно-накопительной системы ГПС заготовки и отдавать в нее обработанные детали и управление этим процессом с помощью ЭВМ верхнего уровня. Важнейшей ее характеристикой является время смены палет. Это время является также временем холостых ходов и учитывается при расчетах производительности ГПМ. Наличие автоматизированной системы уборки стружки и сбора и очистки эмульсии является предпосылкой надежной, бесперебойной работы.

Автоматизированная уборка стружки обеспечивается путем ее смыва в зоны, где расположены стружкотранспортеры и далее с их помощью в контейнеры для

сборки стружки. При глубоком сверлении, применяется часто подача эмульсии через осевое отверстие в шпинделе, далее через осевое отверстие в сверле, в зону обработки. В этих случаях эмульсия очищается фильтрами. Для прецизионных станков температура эмульсии поддерживается с помощью холодильных установок 22 градуса по Цельсию  $\pm 2$  градуса.

Централизованная автоматическая смазка опор шпинделя, направляющих и других узлов скольжения или качения применяется импульсная смазка с подачей с помощью дозаторов масла в точки смазки. При этом конструкция дозаторов такова, что масло поступает последовательно порциями от первой до последней точки. Подача масла в последней точке контролируется бесконтактным индуктивным датчиком, срабатывание которого контролирует УЧПУ. При отсутствии сигнала от датчика, УЧПУ сообщает оператору о неисправности в системе смазки.

Для шпинделей с низкой частотой вращения до 6 тыс. об/мин применяют смазку с непрерывной подачей масла в зону расположения подшипников, при более высоких частотах – пневмомасленную смазку со строго дозированной подачей масла непосредственно на дорожки качения подшипников. Специальная система подает в трубочки в зависимости от частоты вращения шпинделя строго дозированную порцию масла и прогоняет ее с помощью воздуха к месту назначения. Через определенный промежуток времени процесс повторяется. Циклом управляет процессор, который также контролирует температуру подшипников.

#### **6.4.3. Специфические особенности ГПМ, как основных компонентов ГПС.**

Рассмотрим технические характеристики на реальных примерах одной из ведущих фирм ФРГ в этой области, фирмы «Вернер». ГПМ этой фирмы серии ТС рис. 6.1; 6.2. и 6.3. располагают унифицированными интерфейсами и могут быть встроены в ГПС. Абсолютная закрытость рабочей зоны с хорошим доступом в нее создает и надежную защиту от стружки и брызг СОЖ, что особенно важное значение имеет для функционирования системы без перебоев. Устройство смены инструмента также закрыто и таким образом защищено от попадания стружки и СОЖ. Все функции обрабатывающих центров управляются от программ, т.е. осуществляются автоматически.

Четырехопорный шпиндель (двухрядный подшипник на передней на задней опоре) в прецизионном исполнении приводится в действие частотнорегулируемым приводом с асинхронным электродвигателем трехфазного тока через многоступенчатую передачу с непосредственным программированием числа оборотов. В накопителе инструмента имеется от 40 до 144 мест. Это цепной накопитель повышенной емкости на отдельно расположенной стойке, позволяющий иметь резервные инструменты на случай истечения ресурса стойкости. Смена инструмента должна происходить автоматически с использованием транспортной системы для инструмента или вручную, смены палет должна происходить автоматически с использованием транспортной системы для загрузки-выгрузки изделий. Все эти манипуляции могут осуществляться оператором и в ручном режиме.

Ниже приведена краткая техническая характеристика сверлильно- фрезерно-расточного ГПМ фирмы «Вернер»:(рис. 6.1)

- размер паллет – 630х630мм;

- скорость быстрых перемещений – 40м/мин. Ускорение при разгоне – 0,8 м/сек<sup>2</sup>;
- скорость подач быстрых перемещений при линейных электродвигателях достигает 120м/мин, ускорение до 3м/сек<sup>2</sup>;
- частота вращения шпинделя, выполненного на 2-х опорах с дуплексированными подшипниками в особо точном исполнении с пневмомасленной смазкой – 10 тыс.об/мин;
- привод шпинделя с частотным регулированием, трёхфазным асинхронным двигателем с непосредственным программированием числа оборотов. Мощность – 40 кВт, крутящий момент при 1000 об/мин – 280 нм;
- цепной магазин инструментов от 44 до 144 мест на сепаратной стойке. Время смены инструмента – 5сек;
- стационарное устройство для смены инструментов, поворотный двухзахватный питатель, надёжно защищен от попадания стружки и СОЖ;
- устройство для промывки детали, приспособления и палет после окончания обработки - герметичное ограждение с надёжной защитой оператора и окружающей среды от стружки и СОЖ. Полностью закрытая рабочая зона с оптимальной доступностью;
- по желанию автоматическая очистка конуса для крепления инструмента;
- точность позиционирования по осям 12мкм;
- время смены палет 18 сек;



Рис.6.1. Сверлильно- фрезерно-расточной ГПМ TC 630 фирмы «Вернер»

Основные технико-экономические преимущества ГПМ фирмы Вернер:

- автоматический контроль процесса обработки;
- комплексная обработка изделий при минимальном количестве установов;

- большое удобство при переналадках благодаря быстрой смене программ ЧПУ;
- низкие издержки складского и транспортного хозяйства, высокое качество обработки;
- любое количество автономных станков в любое время можно задним числом включать в гибкую производственную систему;

ГПМ ТС 630 с линейным накопителем палет приведен на рис.6.2.

Важные преимущества ГПМ с линейным накопителем:

- линейный накопитель изготовлен из испытанных на практике стандартизированных компонентов для автоматизации потока изделий;
- количество мест в накопителе для палет и рабочих мест для наладки можно согласовать с конкретными требованиями заказчика;
- выгодное по стоимости управление линейным накопителем благодаря использованию испытанных и структурированных в соответствии с их функциями компонентов системы;
- цепной магазин может комплектоваться от 40 до 144 инструментов в зависимости от потребности в конкретном случае;
- управление инструментами при помощи ЭВМ с учётом количества сменных инструментов со скоростной сменой инструмента и без нее;

Одной из важнейших особенностей этого модуля (рис.6.2) заключается в том, что он может работать в третью смену в малолюдном автономном режиме функционирования. (наблюдение, например, одним оператором за работой станка по видеомонитору и вмешательство только в случае отказа. Для этого необходимо количество мест в накопителе палет достаточное для работы на протяжении смены и предусмотреть дублирование инструмента по ресурсу стойкости.

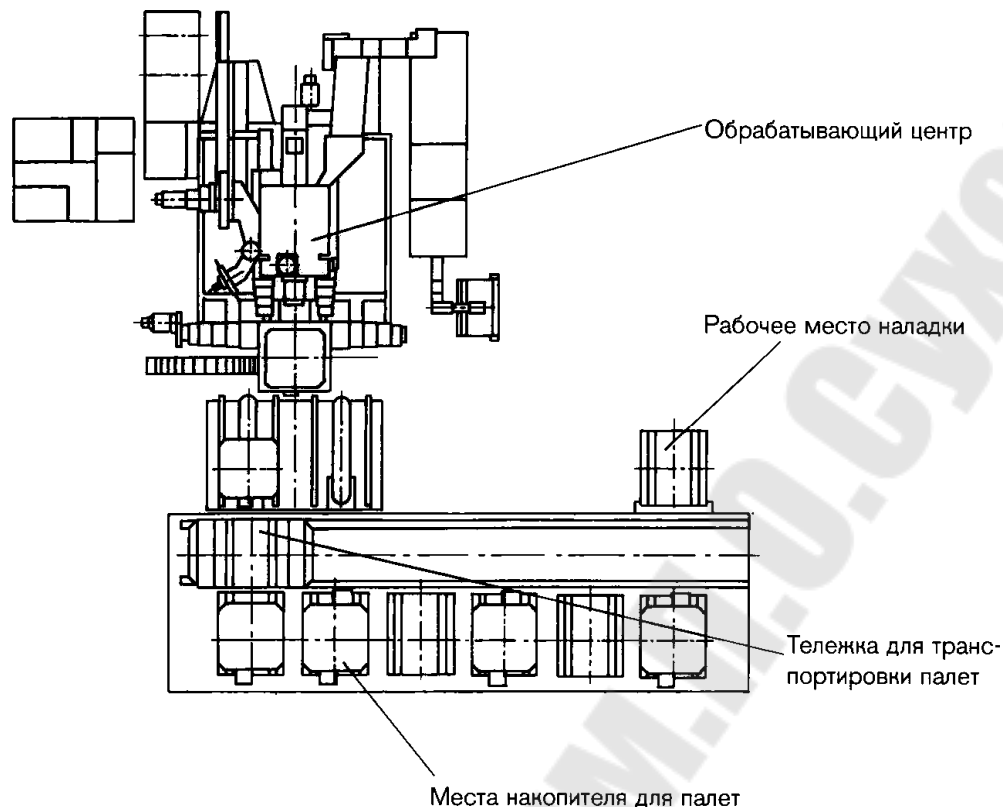


Рис.6.2. ГПМ TC630 с линейным накопителем палет.

Особое внимание заслуживают более новые горизонтальные ГПМ с роботизированными кассетными магазинами мод. TC400. (рис.6.3).

Основные характеристики ГПМ TC400:

- высокая производительность благодаря максимальной частоте вращения шпинделя, до 10000об/мин, мощности привода 25 кВт и момент 250 нм при 1000об/мин;
- короткое вспомогательное время смены инструмента равное 5сек. и время «от стружки до стружки» равное 8 сек, время смены палет – 15сек, ускоренный ход – 40м/мин;
- большой, от 92-х до 172-х мест роботизированный, подготовленный для расширения кассетный магазин на новой компактной системе направляющих. Конус инструмента – 40;
- параллельная с машинным временем внешняя замена инструментов при сменах нарядов и износе инструмента при помощи инструментальных кассет;
- высочайшая точность обработки благодаря жёсткому исполнению шпиндельного узла, термосимметричной конструкции;
- в стандартном исполнении ОЦ пригоден для работы в ГП ячейке и системе.

Мощность главного привода 25 кВт при конусе инструмента 40 – явно завышена, вполне хватило бы 12-15 кВт. Дело в том, что у данного станка отсутствует коробка передач, которая увеличивает момент при низких оборотах и увеличение момента осуществляется за счет увеличения мощности электродвигателя главного привода. Такое решение просто по конструкции, но ведет к повышенному потреблению электроэнергии и стоимости привода.

Хотелось обратить внимание на роботизированную смену инструмента. Захват робота перемещается в 3-х взаимно перпендикулярных направлениях параллельно осям станка и захватывает инструмент за канавку в оправке, переносит ее в двурукий манипулятор, который имеет возможность перемещения вдоль оси X станка и поворота вокруг ее. Таким образом, оправка ориентируется вдоль оси Z станка. Далее колонна своим движением по осям Y, Z и X вставляет оправку в свободную руку манипулятора, происходит разжим оправки и колонна перемещается вдоль оси Z, далее перемещается вдоль оси Y на расстояние равное между оправками и затем по оси Z наезжает на новую оправку, происходит зажим новой оправки и колонна движением по оси X уходит в рабочую зону. Двурукий манипулятор поворачивает руку вокруг оси и уходит в исходное положение вдоль оси X. Робот забирает отработанный инструмент и устанавливает в кассетный магазин оправку в свободную руку манипулятора, происходит разжим оправки и колонна перемещается вдоль оси Z, далее перемещается вдоль оси Y на расстояние равное между оправками и затем по оси Z наезжает на новую оправку, происходит зажим новой оправки и колонна движением по оси X уходит в рабочую зону. Двурукий манипулятор поворачивает руку вокруг оси и уходит в исходное положение вдоль оси X. Робот забирает отработанный инструмент и устанавливает в кассетный магазин.

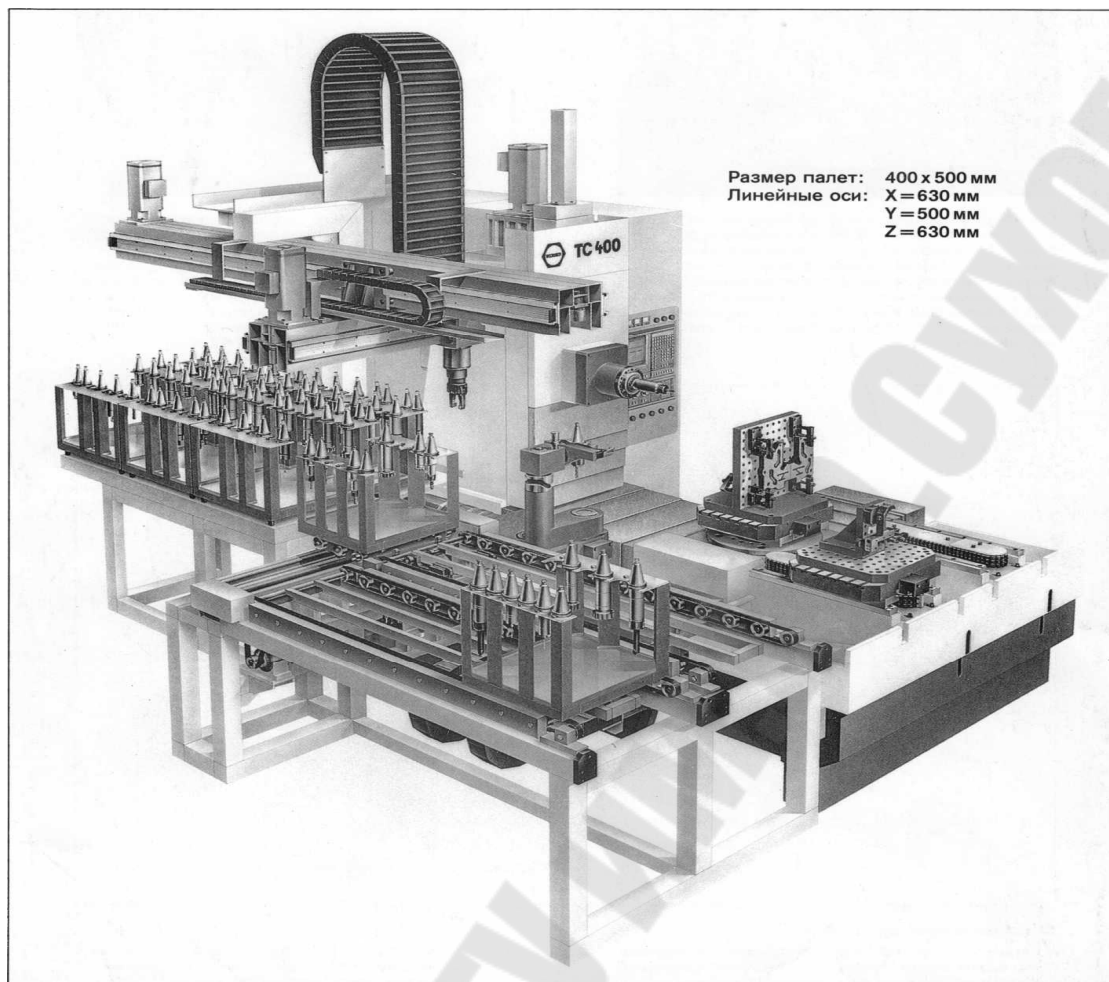
На рисунке вы видите еще одно устройство. Это промежуточное устройство загрузки-выгрузки кассет с инструментом с транспортных тележек. О нем будет подробно рассказано ниже, когда будет рассматриваться автоматизированная подсистема снабжения ГПС инструментами.

В ГПС часто включают также дополнительно сверлильный станок (мульти-центр) с автоматической сменой сверлильных головок, который, сохраняя высокую гибкость, способствует многократному увеличению производительности труда современных гибких систем

(рис.6.4). На этом станке производится постоянно повторяющихся схем расположения обрабатываемых отверстий и резьбонарезные операции, специальные фрезерные операции. Этот новый системный модуль может приспосабливаться к меняющимся производственным задачам. Транспортировка изделий к накопителю изделий и от него производится с помощью палет, которые транспортируются рельсовыми тележками или индуктивными транспортными системами.

Важные преимущества ГПМ.ТС63ВК

- автоматическая смена передних бабок, многошпиндельных сверлильных головок, сверлильных головок и головок для подрезки торцев;
- смена специальных головок даёт возможность приспособить станок к меняющейся технологии резания в обработке изделий;
- непосредственный доступ к максимально 8 специальным сверлильным головкам в накопителе головок станка;
- короткое время смены специальных головок;



*Рис.6.3.* Горизонтальный обрабатывающий центр фирмы «Вернер» TC400 с кассетным магазином и новой системы снабжения инструментами, пригодный для работы в ГПС.

- при необходимости автоматическая подача специальных головок из центрального накопителя, благодаря этому общее использование специальных головок на разных станках;
- возможные размеры палет от 800 x 800 до 1250 x 1250 мм;
- сверлильный станок с автоматической сменой сверлильных головок можно в любое время задним числом включить в ГПС.

Стол и салазки оси X пригодны для больших усилий подачи, что дает высокую производительность резания, а также позволяет достигать высокой точности при критических режимах резания. Стол может быть как с дискретным, так и с непрерывным делением, реализованный как дополнительная ось В. Подключаемая ось U управляемая от УЧПУ позволяет использовать головки для подрезки терцев, т.е. производить движение подачи перпендикулярно к оси вращения шпинделя.



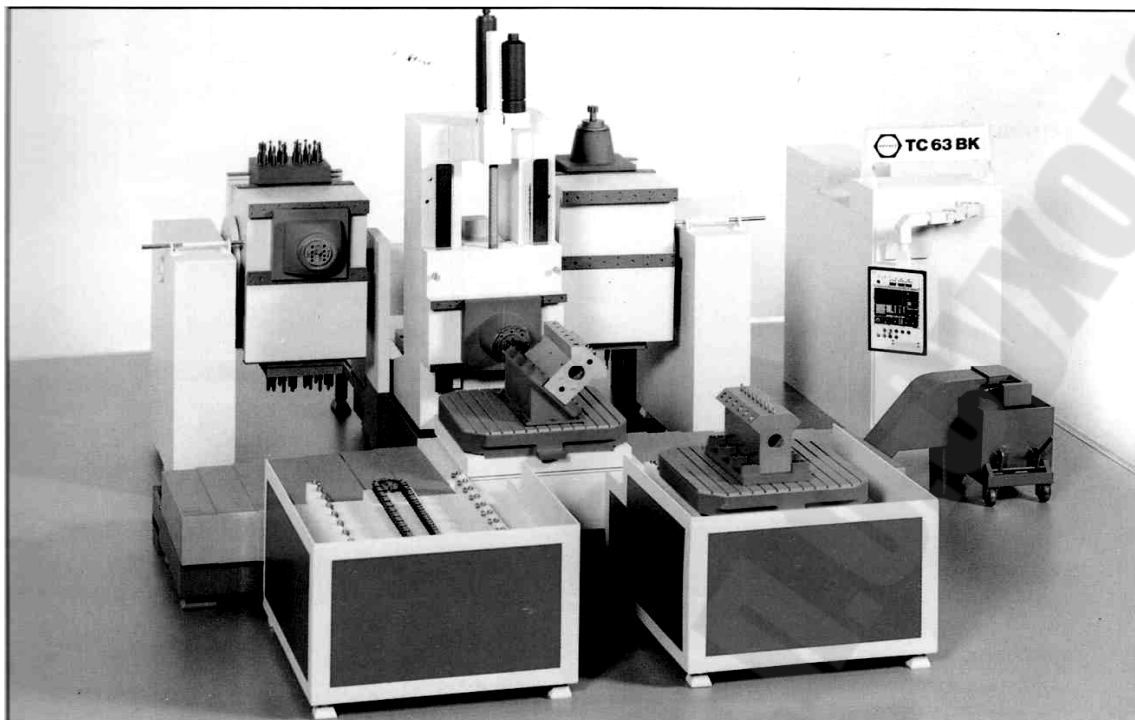


Рис 6.4..Сверлильный ГПМ со сменой сверлильных головок фирмы «Вернер» TC63BK

Накопители сверлильных головок имеются в распоряжении в нескольких ступенях расширения. Расширенные возможности предлагают два связанных с машиной барабанных накопителя с максимум 12-ю гнездами сверлильных головок до накопителей различной конструкции, как круглые, передвижные или стеллажные накопители, находящиеся за станком и в центре системы, предназначенные для нескольких станков и позволяющие расширение до любых размеров. Во всех случаях смена сверлильной головки производится за 5-6 сек., при этом новая головка вставляется сбоку, а подлежащая замене - выталкивается с другой стороны. Такой метод проталкивания делает обеспечивает минимальную продолжительность смены от стружки до стружки 20 сек.

Для смены инструмента в сверлильных головках сзади имеется дверь, размещенная на задней стороне ограждения накопителя и имеется оттуда доступ к нему. На время смены инструмента вращение накопителя при открытой дверке ограждения блокируется. С помощью загрузочного устройства новых головок и удаления отработавших старых головок возможна работа станка без прерывания рабочего процесса.

#### 6.4.4.Основные требования к конструкции ГПМ.

ГПМ требуют высокой точности позиционирования по осям, при дискретности отсчета перемещения 1 мкм для большинства станков, а в базовом исполнении, точность позиционирования по осям должна быть не менее  $\pm 5$  мкм. по европейским стандартам VDI. Наши стандарты менее жесткие и зависят от моделей станков и их габаритов и колеблются для, сравнимых вариантов для станков, например, сверлильно-фрезерно-расточных в пределах  $\pm 7-10$  мкм.

Для прецизионной обработки необходима более высокая точность, что требует поддержания постоянной температуры в цеху  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  Точность станка оп-

ределяется точностью изготовления его деталей и узлов, особенно направляющих корпусных деталей, несущих инструмент и заготовку, высокими динамическими характеристиками приводов подач и главного привода, качеством сборки станка, жесткостью его элементов, зазорами в сопрягаемых деталях, условиями трения в направляющих при перемещении рабочих органов. Жесткость шпинделя и других ответственных узлов станка должна превосходить жесткость аналогичных узлов, предназначенных для традиционных станков.

При трогании с места исполнительный орган начинает движение не одновременно с действием управляющего сигнала, а только после того, как будут выбраны зазоры в передачах, произойдет некоторая деформация элементов, а усилие, воздействующее на управляемый орган, превзойдет сопротивление сил трения и сил резания.

Действие указанных факторов особенно важно учитывать при конструировании ходовых винтов - последних звеньев передач к исполнительным органам большинства ГПМ. Именно поэтому в ГПМ используют шарико-винтовые пары (ШВП), отличающиеся высокой точностью, износостойкостью и жесткостью благодаря применению гаек с предварительным натягом и большему диаметру ходового винта. Последний, жестко крепится в осевом направлении, для чего используют упорные подшипники с предварительным натягом.

В ГПМ, по сравнению с традиционными станками, кинематические цепи, передающие движение от электродвигателя к исполнительному механизму, значительно короче благодаря применению автономных приводов для всех рабочих движений. Коробка скоростей ГПМ имеют жесткий шпиндель с короткими кинематическими цепями, широким диапазоном частоты вращения за счет частотно-регулируемого главного привода. Эти конструктивные особенности позволяют значительно увеличить статическую и динамическую жесткость привода.

ГПМ оснащаются направляющими качения, обеспечивающими высокую точность перемещений исполнительных механизмов, а также беззазорными механическими передачами.

Скорость быстрых перемещений исполнительных механизмов, зависит от перемещаемых масс, маховых масс вращающихся деталей ШВП и роторов электродвигателей. Для уменьшения времени торможения и пуска конструкторы стремятся уменьшить массы перемещающихся узлов и маховые массы вращающихся деталей и увеличить статическую и динамическую жесткость привода.

Дискретность (цена импульса) это перемещение по осям исполнительных механизмов, должна быть не более 1 мкм. Это положительно влияет на увеличения точности позиционирования и увеличивает точность аппроксимации расчетной траектории перемещения при круговой интерполяции при условии, что будут применяться абсолютные линейные датчики, а не косвенные.

#### **6.5. Гибкие производственные модули (ГПМ) для обработки деталей типа тел вращения.**

На рис.6.5. изображен токарный обрабатывающий центр фирмы MAS завода «Ковосвит MAS», Чехия, мод. HiTURN 65-10X. Это новая разработка, которая сегодня предлагается на рынке.

Токарный обрабатывающий центр предназначен для обработки деталей из прутка до 65мм. в условиях серийного производства и имеет конкурентоспособные технические характеристики.(Таблица 6.1).

Компоновка резцовых суппортов, их четыре, позволяет одновременную работу двумя суппортами из трех: верхний левый сверлильно-фрезерный суппорт перемещается по трем осям  $X1$ ,  $Y1$ ,  $Z1$ , левый нижний - по осям  $X3$ ,  $Z3$ , левый отрезной - по оси  $A3$ , правый верхний суппорт – по оси  $X2$  и противопиндель (контршпиндель) - по оси  $Z2$ . Эта компоновка имеет название «два в одном» и имеет решающее значение в повышении производительности: «один станок» обрабатывает деталь (правую ее часть) в левом шпинделе и «другой станок» параллельно обрабатывает левую часть детали. Готовую обработанную деталь в правом шпинделе вручную или с помощью робота выгружают в кассеты для дальнейшего транспортирования и они с помощью транспортных тележек передаются на склад или для дальнейшей обработки. После этого правый шпиндель перехватывает с левого шпинделя новую деталь, частично обработанную в левом шпинделе и цикл повторяется.

Левый суппорт имеет возможность перемещаться в трех взаимно перпендикулярных направлениях по осям  $X1$ ,  $Y1$  и  $Z1$  и с помощью приводных инструментов выполнять сверлильные, расточные, фрезерные и резьбонарезные операции. Возможна обработка отверстий перпендикулярно оси вращения детали и под углом к ней. На рисунке 6.6. показано нарезание резьбы в детали «типа втулка» под углом к ее оси вращения.

Это возможно путем программирования с использованием функций линейной интерполяции по осям  $X1$  и  $Z1$ .

При обработке, например, лысок на цилиндрической поверхности деталей, отверстий перпендикулярных оси вращения детали, необходимо повернуть деталь на определенный угол вокруг оси и зафиксировать шпиндель в таком положении, переместить инструмент по оси  $X1$ (глубина врезания) и движением по осям  $Y1$  и  $Z1$  фрезеровать лыску. Для этого используют функции УЧПУ для углового позиционирования и шпиндель является непрерывной осью со слежением и может поворачиваться на любой от УЧПУ заданный угол с определенной дискретой. Фиксация шпинделя происходит с помощью электромагнитных муфт или другими механическими способами.

В станке использована система УЧПУ Fanuc31i, позволяющая использование 2-х разделенных, независимых процессов управления правым и левым шпинделем.

Резцовый суппорт предназначен для отрезания детали от прутка после ее обработки левым суппортом и перехвата правым шпинделем, при этом вращение обоих шпинделей (оси  $S1$  и  $S2$ ) синхронизируется от УЧПУ и они вращаются с одинаковой угловой скоростью.

После отрезки детали правый шпиндель с зажатой деталью уходит в свою зону обработки, и обработка детали продолжается правым суппортом.

Такая компоновка имеет и свои недостатки. В связи с тем, что левый суппорт имеет большие технологические возможности (перемещение по 3-м координатам), в связи с этим обработка детали занимает более длительное время, а правый суппорт, имея ограниченные технологические возможности, (перемещение по одной

координате), он может простаивать. Поэтому возникает необходимость рационального распределения технологических операций по машинному времени между суппортами и где нужно стремиться к его равенству.

Длинные детали обрабатывают зажатые в левом шпинделе и центром задней подводной бабки (опция), которая поддерживает свободный конец детали.

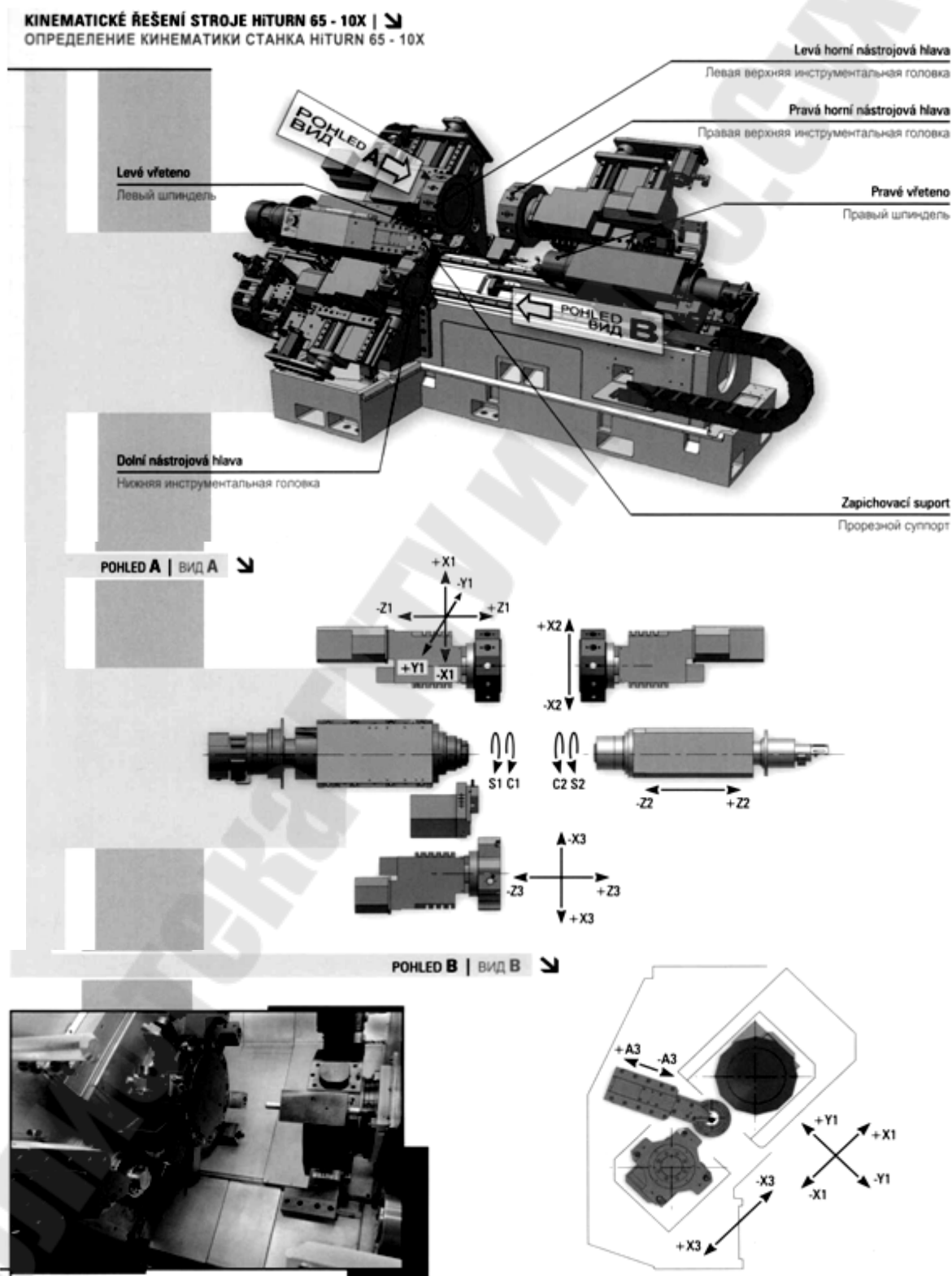


Рис.6.5. Токарный обрабатывающий центр фирмы MAS завода

Техническая характеристика		HiTURN 65-10X
Максимальный диаметр прутка	мм	65
Максимальные обороты левого шпинделя – S1	мин <sup>-1</sup>	5000
Мощность двигателя левого шпинделя	кВт	24
Дискрета при перемещении по оси C1	мм	0,001 <sup>0</sup>
Максимальные обороты правого шпинделя – S2	мин <sup>-1</sup>	6000
Мощность двигателя правого шпинделя	кВт	16
Дискрета при перемещении по оси C2	мм	0,001 <sup>0</sup>
Ход правого шпинделя по оси Z2	мм	735
Число управляемых осей		10
Число крестовых суппортов		3
Число отрезных суппортов		1
Ход суппортов инструментальных головок по осям		
X1/Y1/Z1	мм	222/80/276
X2	мм	222
X3/Z3	мм	187/153
A3	мм	104
Скорость быстрых перемещений по осям		
X1/Y1/Z1	м. мин <sup>-1</sup>	26/21,6/36
X2	м. мин <sup>-1</sup>	26
X3/Z3	м. мин <sup>-1</sup>	26/26
A3	м. мин <sup>-1</sup>	36
Число позиций инструментальных головок		3
Число позиций лев. верхней инструментальной головки		12 привод- ный
Число позиций прав. верхней инструментальной головки		12 привод- ных
Число позиций нижней инструментальной головки		4 жесткие
Система управления		FANUC 31i

Обозначение осей	
<b>C1</b> – ось левого шпинделя <b>C2</b> – ось правого шпинделя <b>Z2</b> – ось правого шпинделя <b>X1/Y1/Z1</b> – оси левой верхней инструментальной головки	<b>X2</b> – ось правой верхней инструментальной головки <b>X3/Z3</b> – оси нижней инструментальной головки <b>A3</b> – ось отрезного суппорта
Стандартные принадлежности	
Цанговый зажим левого шпинделя Цанговый зажим правого шпинделя Синхронный правый шпиндель Ось С на левом и правом шпинделе Привод инструментов левой верхней инструментальной головки Привод инструментов правой верхней инструментальной головки Обдув цанги правого шпинделя	Отрезной суппорт Выталкивание детали из правого шпинделя Центральное охлаждение Установка подачи СОЖ под давлением 17 бар с фильтрацией Устройство отбора готовых деталей Транспортер деталей Транспортер стружки Освещение рабочей зоны Инструменты для обслуживания
Специальные принадлежности	
Щуп для измерения инструмента Установочный болт Контейнер для стружки	Патрон для зажима детали в правом шпинделе Механизм подачи заготовок

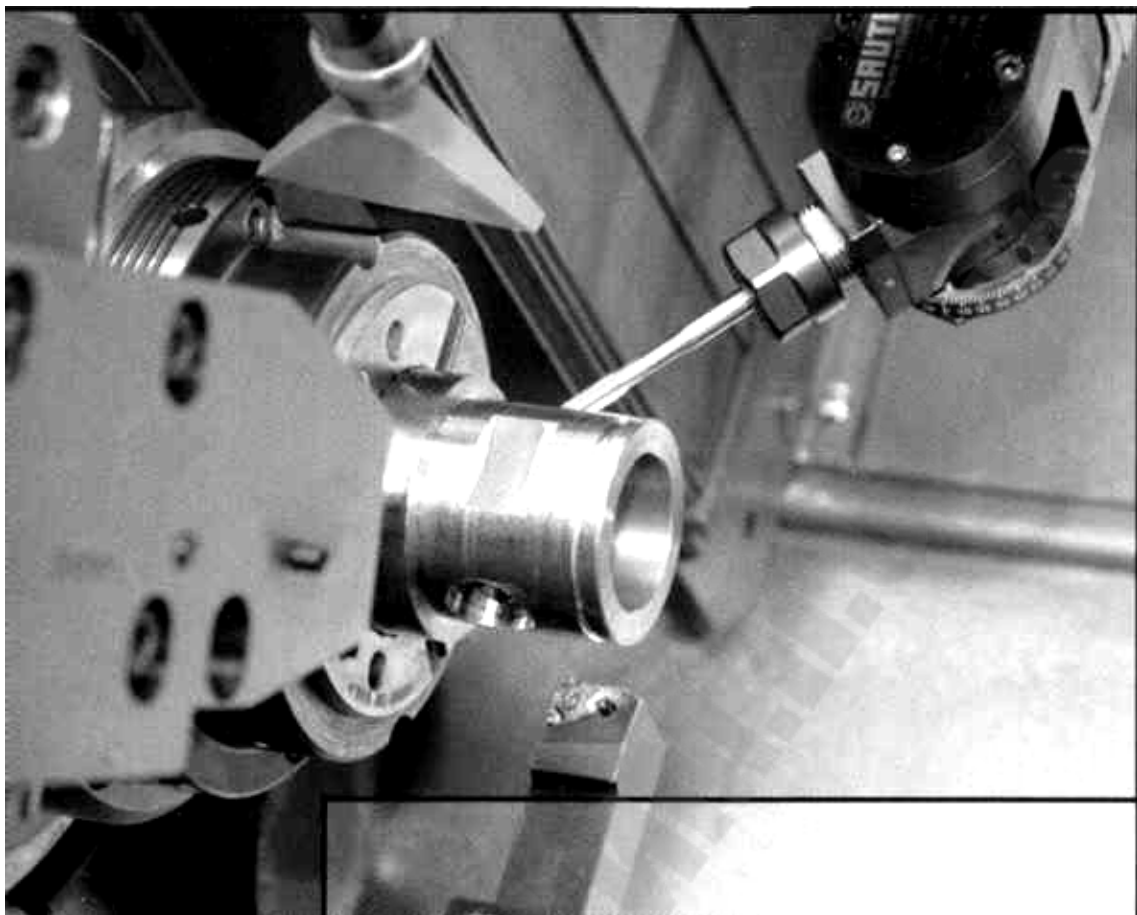


Рис.6.6. Нарезание резьбы под углом к оси вращения детали на токарном обрабатывающем центре фирмы MAS завода «Ковосвит MAS», Чехия, мод. HiTURN 65-10X.

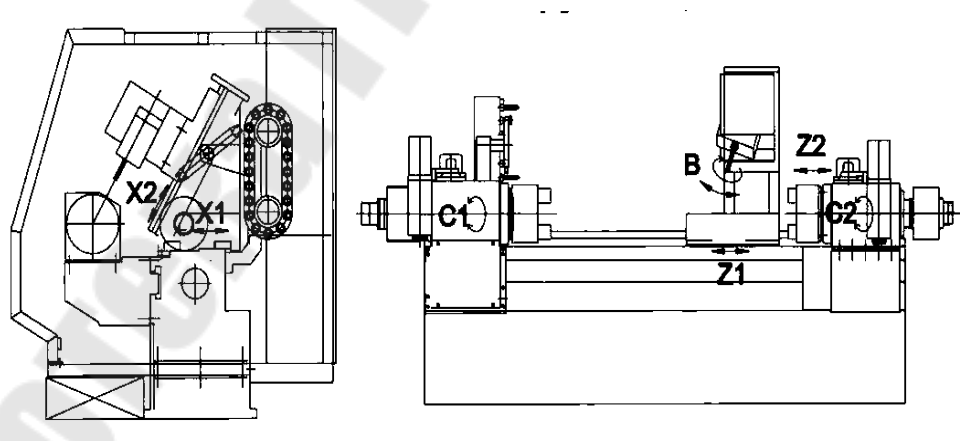


Рис.6.7. Центр токарный мод.САТ630 с токарно-фрезерной головкой (осью В), инструментальным магазином с устройством автоматической смены инструмента, противопинделем, устройствами позиционирования и круговой подачи шпинделя (осью С1) и противопинделя (осью С2).

Для смены инструментов, в модулях при смене заданий применяются цепные магазины.(рис.6.7). В цепном магазине инструменты закреплены в оправках или в сменных блоках, которые закреплены на цепи в магазине. Смена инструмента с оп-

равками или с блоком происходит с помощью руки манипулятора, которая устанавливает их на резцовые головки суппортов.

## **6.6. Подсистема транспортирования и складирования заготовок и готовых изделий.**

### **6.6.1. Автоматизация загрузки, транспортирования и складирования изделий в условиях автоматизированного производства.**

В автоматизированных системах различного уровня широко используются транспортно-загрузочные, накопительные и складские устройства и системы. Они предназначены для перемещения изделий с позиции на позицию, их распределения по потокам, поворота, ориентации, межоперационного накопления и складирования. Характер работы, состав, конструкция, компоновка указанных устройств напрямую зависят от характеристик изделий и характера технологического процесса. Правильный выбор средств транспортирования, загрузки, накопления и складирования изделий непосредственно влияет на надежность, производительность и эксплуатационные затраты автоматизированных систем.

Первое, наиболее распространенное требование для деталей, поступающих на ГПМ — их ориентация, базирование и зажим в патронах, например, токарных станков. Для этой цели используют ПР, трансманипуляторы и другие ориентирующие устройства.

Среди последних наибольшее распространение получили вибрационные бункерно-ориентирующие устройства (БОВУ), которые используются для ориентации мелких деталей типа тел вращения.

Детали поступают в БОВУ в виде неориентированной массы (навалом) со склада в контейнерах с помощью порталных или монорельсовых трансманипуляторов и засыпаются в БОВУ. После их активной ориентации с помощью ПР или встроенных станочных механизмов загрузки их устанавливают на рабочие позиции.

Такие способы для загрузки мелких деталей очень часто применяются в токарных и шлифовальных станках.

При обработке крупных корпусных деталей на ГПС, детали поступают со склада на палетах уже сориентированными и зажатыми в приспособлениях с помощью рельсовых или индуктивных тележек.

### **6.6.2. Загрузочные устройства автоматизированных систем.**

Особым классом загрузочных устройств (ЗУ) являются трансроботы, которые служат для транспортировки, ориентации и загрузки изделий.

Промышленным роботом (ПР) называют быстро перенастраиваемое устройство с собственным программным управлением, позволяющим синхронизировать его действие с другими машинами и механизмами и выполнять с помощью своих механизмов циклически повторяющиеся операции технологического процесса, т. е. это устройство, которое легко вписывается в комплекс технологического оборудования для его обслуживания. Промышленные роботы применяют в металлообработке, штамповке, сборке, литейном производстве.



Технический уровень ПР определяют следующие параметры: пределы и степени свободы движения, способность движения в многомерном пространстве, погрешность позиционирования (линейная или угловая погрешность, с которой ПР выполняет свои функции), повторяемость, гибкость системы управления, объем памяти и др. Кроме того, ПР характеризуются своей грузоподъемностью, площадью зоны обслуживания, формами и габаритами захватываемых деталей.

По степени участия человека в управлении принято классифицировать роботы на три группы (три поколения).

Роботы первого поколения работают по «жесткой» программе и требуют точного позиционирования изделий. Они имеют весьма ограниченные возможности по восприятию рабочей среды.

Роботы второго поколения (адаптивные роботы) способны приспосабливаться к изменяющейся обстановке, например, при изменении веса детали, изменяют скорость ее перемещения, обеспечивают точное позиционирование захвата, так как снабжены датчиками обратной связи и не требуют очень точного позиционирования детали.

Роботы третьего поколения (интеллектуальные роботы) могут воспринимать, логически оценивать ситуацию и в зависимости от этого определять движения, необходимые для достижения заданной цели работы.

Системы управления этих роботов снабжены датчиками обратной связи, встроенными ЭВМ и устройствами технического зрения. При возникновении на пути движения схвата непредвиденных незапрограммированных препятствий, например, человека, они останавливаются.

По степени универсальности ПР делят на три группы:

- универсальные, предназначенные для выполнения основных и вспомогательных операций независимо от типа производства, со сменой захватного устройства и с наибольшим числом степеней свободы;
- специализированные, предназначенные для работы с деталями определенного класса при выполнении операций штамповки, механообработки, сборки, со сменой захватного устройства и с ограниченным числом степеней свободы;
- специальные, предназначенные для выполнения работы только с определенными деталями по строго зафиксированной программе и обладающие 1 - 3 степенями свободы.

В отличие от станков роботы программируют, как правило, методом обучения, когда на первом цикле оператор, управляя роботом вручную, имитирует цикл работы. Вся последовательность движений робота, координаты позиций и траектории перемещений запоминаются и воспроизводятся в последующих циклах автоматически.

По типу привода различают гидравлические, пневматические, электрические, смешанные ПР.

Промышленные роботы бывают неподвижными (стационарными) и подвижными. И те, и другие могут быть как напольными, так и подвесными. К подвижным относятся транспортные ПР, обслуживающие линии, участки, комплексы.

В состав ПР входят:

- механизмы захвата и захватные устройства;

- механизмы движения рук по цилиндрической поверхности (рука движется по вертикали и поворачивается) и по сферической поверхности;
- механизмы перемещения;
- датчики.

Важной составной частью роботов являются датчики: контактные, сигнализирующие о прикосновении руки робота; локационные, определяющие скорость движения и расстояние до предметов; телевизионные и оптические, образующие искусственное зрение; датчики усилий и моментов на исполнительных руках робота при проведении операции; датчики, различающие цвет, температуру, звучание и другие факторы. Система датчиков служит источником обратных связей для управления роботом. Сигналы датчиков нужным образом преобразуются и обрабатываются на ЭВМ с целью формирования сигналов управления, подаваемых на приводы исполнительных рук. В результате робот начинает действовать с учетом фактической обстановки, т. е. он получает возможность адаптации (приспособления своих действий) к реально складывающейся обстановке.

### **6.6.3. Выбор промышленных роботов для обслуживания технологического оборудования.**

Промышленные роботы чаще всего применяют для автоматизации загрузки-выгрузки изделий на технологическое оборудование. Они могут выполнять также смену инструмента и контроль изделий на оборудовании. Применение ПР позволяет автоматизировать технологический процесс, повышает загрузку оборудования, обеспечивает гибкость (быструю переналадку) при смене изделия, улучшает условия труда в автоматизированном производстве.

Промышленные роботы должны обладать:

- достаточным техническим уровнем для обслуживания сложного технологического оборудования;
- соответствующими техническими характеристиками (грузоподъемность, скорость срабатывания, точность позиционирования, тип программного устройства);
- возможностью встраиваться в обслуживаемое оборудование по всем параметрам;
- высокой надежностью, достаточной универсальностью, малым временем переналадки;
- возможностью повышения технико-экономических показателей обработки (низкий уровень брака, высокая производительность).

При выборе ПР необходимо учитывать:

- соответствие массы манипулируемого объекта грузоподъемности ПР;
- соответствие зоны, в которой должно проводиться манипулирование, рабочей зоне робота;
- соответствие траектории, скорости и точности движений кинематическим и точностным возможностям ПР;
- возможность захватывания детали захватным устройством;
- возможность построения траектории перемещения схвата робота между заданными точками в рабочей зоне.

Для автоматизированного участка целесообразно использовать группу однотипных ПР, что упрощает их обслуживание и наладку.

При выборе ПР для обслуживания технологического оборудования можно руководствоваться рекомендациями, приведенными в литературе [2]

Выбранное оборудование и ПР можно скомпоновать в различных вариантах. При небольшом цикле обработки детали можно использовать робота для обслуживания одного станка. В случае большой длительности цикла обработки детали можно расположить группу станков вокруг одного робота или перемещать робота на транспортной тележке вдоль станков.

Для сокращения времени обслуживания станка роботы оснащают двухзахватным схватом.

Для оптимизации рабочего цикла системы машин во времени составляют циклограмму, отражающую моменты начала и окончания рабочих и холостых операций (ходов), а также их взаимное расположение во времени (цикле). Сокращение цикла путем максимального совмещения времени рабочих ходов и времени холостых ходов является целью составления циклограммы. Циклограмма может координировать работу как отдельных узлов и механизмов станка, так и совокупности станков и вспомогательного оборудования, входящих в автоматизированную систему.

#### **6.6.4. Методика построения циклограмм функционирования робототехнического комплекса (РТК)**

Применительно к робототехническим комплексам (РТК) циклограмма должна включать в выбранной последовательности все основные и вспомогательные операции (переходы) изготовления изделия, а также условные операции (переходы) для возможных изменений технологического маршрута.

Для построения циклограммы функционирования РТК необходимо:

- проанализировать компоновку РТК и определить все движения (переходы) основного и вспомогательного оборудования (робота, станка, накопителя), необходимые для выполнения заданного цикла обработки детали;
- определить (составить перечень) всех механизмов основного и вспомогательного оборудования, участвующих в формировании заданного цикла;
- задать исходное положение механизмов робота, станка, транспортера и т. д.;
- составить последовательность движений оборудования (механизмов) за цикл в виде таблицы;
- определить время выполнения каждого движения  $t_i$ , используя формулы

$$t_i = \frac{\alpha_i}{\omega_i} \text{ или } t_i = \frac{\beta_i}{\omega_i} \quad [6.1]$$

- для угловых перемещений,

$$t_i = \frac{l_i}{v_i} \text{ или } t_i = \frac{h_i}{v_i} \quad [6.2]$$

- для линейных перемещений.

Где:  $\alpha_i, \beta_i$  - углы поворотов механизмов;  $l_i, h_i$  - линейного перемещения механизмов;  $\omega_i, \nu_i$  - соответственно угловая и линейная паспортные скорости перемещения механизмов по соответствующей координате.

Для примера приведена циклограмм функционирования РТК механообработки. Комплекс предназначен для обработки деталей на токарно-патронном полуавтомате модели 16К20Ф3. Загрузку-разгрузку и переустановку деталей осуществляет однозахватный ПР М20П40.01. В состав РТК входит накопитель для деталей и заготовок — тактовый стол.

Компоновка РТК представлена на рис.6.8.

Для выполнения заданного цикла обработки детали за два установа необходимы следующие движения (переходы):

- загрузка заготовки в патрон станка;
- зажим заготовки в патроне;
- отвод руки ПР;
- обработка детали (установ 1);
- переустановка (поворот) детали в патроне станка, отвод руки ПР;
- обработка детали (установ 2);
- разгрузка детали из патрона станка на тактовый стол, перемещение - тактового стола на один шаг (на одну позицию).

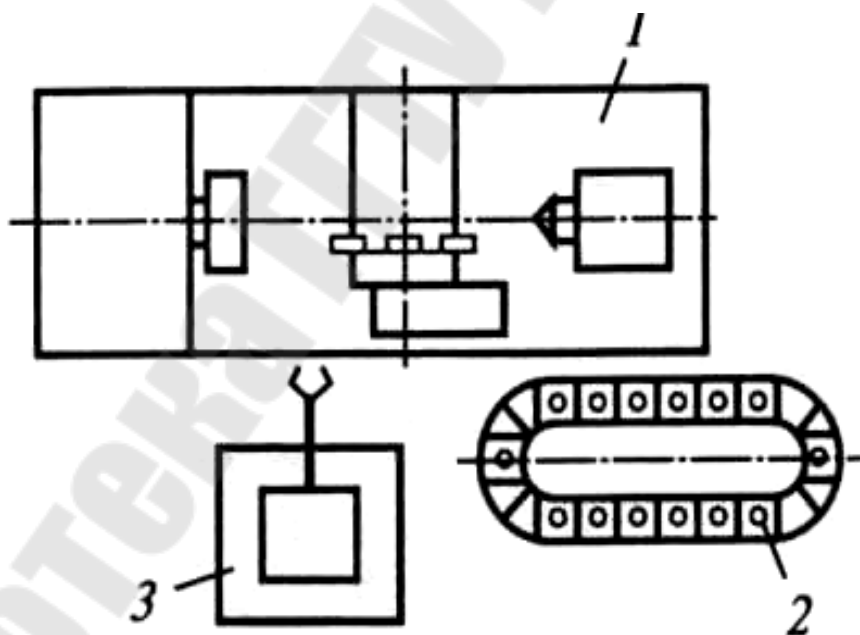


Рис.6.8. Компоновка РТК: 1 — токарный полуавтомат модели 16К20Ф3, 2 — тактовый стол (накопитель заготовок и деталей); 3 — промышленный робот (ПР) модели М20П.40.01. (рис. 6.9).

В формировании заданного цикла участвуют механизмы станка:

- зажима детали (патрон);
- вращения детали;

- подачи суппорта;
- поворота резцовой головки;
- перемещения ограждения.

Механизмы робота:

- подъема руки;
- поворота руки относительно вертикальной оси;
- выдвижения руки;
- зажима схвата;
- ротации схвата (поворота схвата относительно горизонтальной оси);
- поворота схвата относительно вертикальной оси;

Тактового стола:

- перемещения детали (заготовки) на один шаг (на одну позицию);

Исходное положение оборудования и его механизмов:

- патрон станка разжат, ограждение открыто;
- суппорт в нулевой (исходной) позиции, в резцовой головке установлен необходимый комплект инструментов для обработки заданной детали, т. е. для выполнения заданного цикла обработки, линия центров станка выше уровня расположения заготовок на тактовом столе;
- схват робота разжат, ось детали, первоначально зажимаемой в схвате — горизонтальная;
- рука втянута и повернута к тактовому столу;
- схват (рука) на уровне расположения заготовок на тактовом столе;
- заготовка расположена на тактовом столе в призмах против схвата ПР.

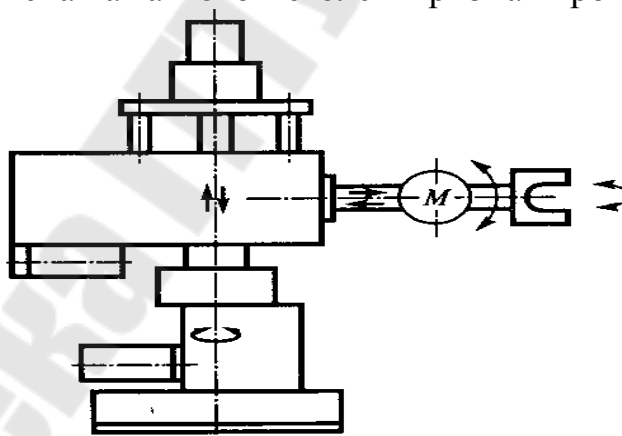


Рис. 6.9. Промышленный робот модели М20П.40.01

В соответствии с составленной последовательностью движений механизмов оборудования за цикл для РТК построена циклограмма функционирования (рис.6.10).

Транспортное оборудование предназначено для перемещения грузов в условиях автоматизированного производства (стеллажные и порталные краны-штабелеры, транспортные роботы, рельсовые и индуктивные тележки, накопители палет, перегрузочные и ориентирующие устройства, транспортно-складская тара, средства АСУ).

Транспортные и накопительные средства выбирают на основе анализа грузопотоков на участке или в цехе с учетом свойств материалов изделий. При выборе схемы грузопотоков необходимо учитывать наименьшие по протяженности маршруты перемещения грузов, минимальное применение перегрузочных устройств.

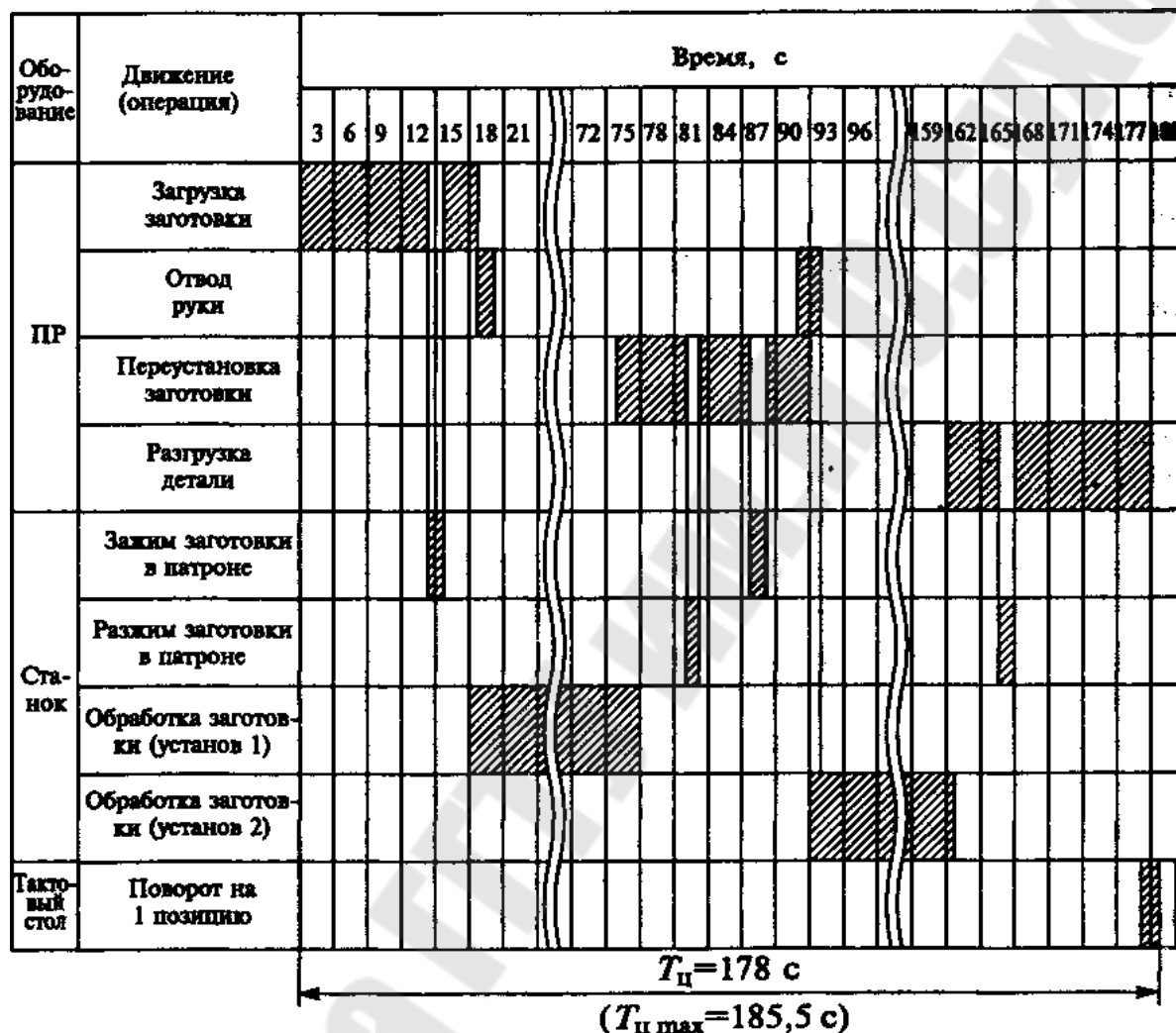


Рис.6.10.Циклограмма функционирования РТК

Особенностью автоматизированных участков (АУ) является применение в качестве транспортных средств кранов-штабелеров и транспортных порталных и монорельсовых промышленных роботов. Все транспортные средства, используемые на этих участках, должны быть оснащены системами автоматического адресования и иметь устройства автоматической погрузки-разгрузки грузов.

Кроме того, в условиях автоматизированного производства широко применяют подвесной транспорт, рельсовый тележечный транспорт.

К подвесному транспорту относятся:

- монорельсовые транспортные роботы с устройствами для перемещения и манипулирования изделиями весом до 300 кг;
- порталные транспортные роботы с устройствами для перемещения и манипулирования изделиями весом до 1000 кг и выше;

К напольно-тележечному внутрицеховому транспорту относятся:

- рельсовые электротележки грузоподъемностью до 0,5 т;
- электроштабелеры напольные грузоподъемностью до 2 т;
- транспортные напольные роботы (рельсовые и безрельсовые), смонтированные на тележках и управляемые по программе.

Монорельсовые транспортные роботы (напольные и подвесные) предназначены для межоперационного и внутрицехового перемещения, ориентации и загрузки деталей и изделий в условиях автоматизированного производства. Они перемещаются по принудительному маршруту, т. е. в строгом соответствии с заданной программой.

Напольные транспортные безрельсовые роботы (индуктивные тележки) перемещаются по свободно программируемому маршруту, т. е. между любыми позициями загрузки (разгрузки), находящимися в пределах обслуживаемой зоны.

Напольные транспортные роботы могут двигаться:

- индуктивные тележки — вдоль провода, уложенного на глубине 40-60 мм от поверхности пола (по проводу пропускают ток силой в несколько сотен миллиампер, с частотой 2...20 кГц и напряжением не более 12 В, создается переменное электромагнитное поле, за которым следят датчики транспортного робота);
- по светоотражающей полосе, прикрепленной к полу (слежение за трассой осуществляется с помощью фотосчитывающих датчиков, реагирующих на изменение световых потоков и вырабатывающих управляющие сигналы);

Технические характеристики транспортных напольных монорельсовых и безрельсовых роботов приведены в литературе [2]

#### 6.6.5. Выбор транспортно-складских систем для автоматизированных производств.

При создании автоматизированных транспортно-складских систем (АТСС) решают задачи не только хранения заготовок, деталей, инструмента, оснастки, но и выбора наиболее эффективных, рациональных компоновок оборудования и маршрутов.

Существует два основных конструктивных варианта построения АТСС: с совмещенными и отдельными транспортной и складской подсистемами.

На рис. 6.11. показана ГПЯ с совмещенной транспортно-накопительной системой.

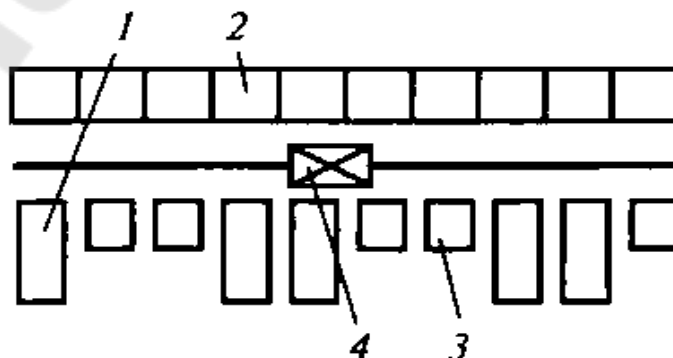


Рис. 6.11. Схема ГПЯ с совмещенной транспортно-накопительной системой: 1 — станки; 2 — склад-накопитель; 3 — перегрузочный стол; 4 — кран-штабелер.

Станки 1 расположены параллельно склад-накопителю 2. Кран-штабелер 4 перемещается вдоль фронта станков и обслуживает как склад-накопитель, так и станки. По команде от системы управления кран-штабелер забирает из определенной ячейки склада-накопителя необходимую заготовку и перемещает ее на перегрузочный стол 3 соответствующего станка. Готовые детали кран-штабелер забирает с перегрузочного стола и переносит в свободные ячейки склада-накопителя. В данном случае не требуется специальной транспортной системы для обслуживания станков, так как эти функции выполняет кран-штабелер.

Схема ГПЯ с раздельной транспортно-накопительной системой с двумя складами-накопителями 7 и двумя кранами-штабелерами 6 показана на рис. 6.12.

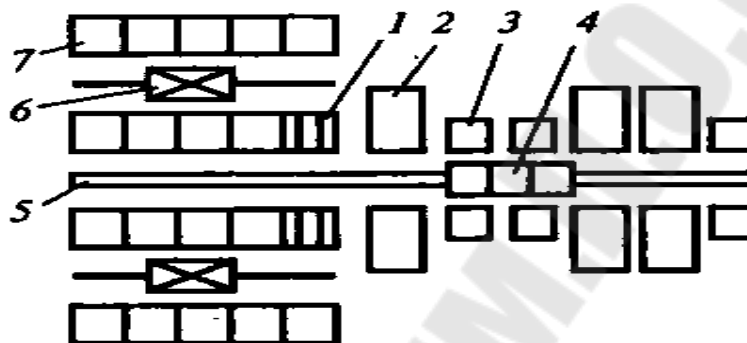


Рис. 6.12. Схема ГПС с раздельной транспортно-накопительной системой: 1 — накопитель палет; 2 — станки; 3 — перегрузочное устройство; 4 — транспортная тележка; 5 — рельсовый путь; 6 — кран-штабелер; 7 — стеллажный склад.

В данной системе автоматическая транспортная тележка 4, перемещаясь по прямолинейному транспортному рельсовому пути 5, обслуживает несколько единиц технологического оборудования. Из стеллажного склада 7 кран-штабелер 6 подает палеты на накопитель палет 1. Далее транспортная тележка 4 по мере необходимости забирает палеты с заготовками и транспортирует ее к перегрузочным устройствам 3 станков 2 и забирает палету с готовой деталью и транспортирует ее на накопитель палет 1. Затем кран-штабелер по команде от системы управления забирает палеты с готовыми деталями и устанавливает ее в свободную ячейку стеллажа.

В приведенных компоновках использованы автоматизированные стеллажные склады-накопители, которые предназначены для приема, хранения, выдачи в производство и учета заготовок, основного и вспомогательного материалов, тары, инструментов, приспособлений, роботов, манипуляторов, готовых изделий, бракованных деталей, отходов производства с целью обеспечения эффективного производственного процесса переналаживаемой автоматизированной системы.

В металлообработке наиболее распространены склады со стеллажными роботами-штабелерами, поскольку они весьма производительны, занимают мало места и их легче автоматизировать. Робот-штабелер — напольная рельсовая машина, позволяющая накапливать заготовки и материалы в ячейках склада и осуществлять выдачу заготовок и материалов в стандартной таре или поддонах на приемно-



выдающие устройства складов. Технические характеристики роботов-штабелеров приведены в литературе [2]

В единичном и мелкосерийном производстве целесообразно применять стеллажные склады с автоматическими портальными кранами-штабелерами.

Иногда используют склады с автоматизированными элеваторными стеллажами целесообразно применять при малых грузопотоках, небольших сроках и запасах хранения грузов и малых размерах самих деталей и изделий, которые подаются к станкам (токарным) навалом в небольших контейнерах.

К технологическому оборудованию автоматизированных складов относятся:

- складская тара;
- стеллажи;
- краны-роботы-штабелеры;
- перегрузочные устройства;
- контейнеры;
- поддоны;
- палеты.

Выбор типа оборудования склада осуществляют с учетом грузопотоков участка или цеха, конструктивно-технологических особенностей изделий и заготовок, сроков хранения, применяемого на участке технологического оборудования.

Компоновка складов зависит от типа и характера производства, производственной программы, внутрицехового и внутрисистемного транспорта, характеристик производственного здания, где размещается проектируемый участок или цех, а также от типа и оборудования самих складов, их основных параметров.

Наиболее рациональна компоновка складов в АПС, когда они максимально приближены к технологическому оборудованию. При этом кран-штабелер выполняет не только функции складирования, но и распределяет по рабочим местам материалы, заготовки, изделия, т. е. стыкует склад с технологическим комплексом. Один или несколько стеллажей склада размещают вдоль производственного участка рядом с оборудованием.

При небольших грузопотоках роботы-штабелеры используют как транспортно-складские роботы и для подачи заготовок на перегрузочные устройства. Портальные краны-штабелеры используют при меньших грузопотоках и больших объемах хранения материалов, заготовок, готовых изделий.

При проектировании автоматических складов определяют:

- функции склада;
- потребную вместимость;
- параметры склада;
- выбирают или проектируют нестандартное оборудование;
- выбирают системы автоматического управления;
- технико-экономические показатели.

Потребную вместимость склада устанавливают в соответствии с нормативными запасами грузов, хранящихся на складе.

#### **6.6.6. Транспортные средства снабжения заготовками и изделиями в ГПС для обработки крупных корпусных деталей.**

В зависимости от различных требований, предъявляемых к гибкости автоматического потока изделий, в соответствии с данной конфигурацией системы и задачами производства используются альтернативно четыре различные системы снабжения изделиями с управлением от ЭВМ.

- рельсовые тележки для прямолинейных путей с ограниченным количеством станций загрузки;
- индуктивная транспортная система (FTS) для нелинейных путей и неограниченного доступа к машинным станциям;
- порталый погрузчик с управлением от ЧПУ для непосредственной манипуляции изделиями, при этом изделия складываются в особые транспортные емкости и подводятся непосредственно к устройствам зажима станка;
- линейная монорельсовая транспортная система с посекционной непосредственной подачей заготовок при помощи многоосных манипуляторов с ЧПУ.

Транспортные рельсовые тележки перевозят палеты для изделий между станцией первичной загрузки заготовок (рис.6.13.) и устройствами смены палет ГПМ (рис.6.14.) и местами базирования палет с изделиями на линейном накопителе. (рис.6.15; 6.16.)

Преимущества рельсового транспорта:

- высокая скорость перемещения до 90 м/мин;
- минимальное время доставки изделий;
- рельсовый транспортный путь легко монтируется и перемещается в нужное место.

Недостатки транспортных рельсовых тележек:

- затруднено электроснабжение: подвод напряжения осуществляется через токоподводящие открытые шины низкого напряжения 24В со счетками или через гибкие шланги (кабельшлепы);
- ограниченный доступ к станкам;
- применение низковольтного оборудования значительно увеличивает габариты и стоимость;
- поворот транспортных путей на 90 и 180 градусов возможны только через дополнительные угловые устройства перегрузки на другой транспортный путь, проложенный под 90 градусов со своей транспортной тележкой, что экономически невыгодно.

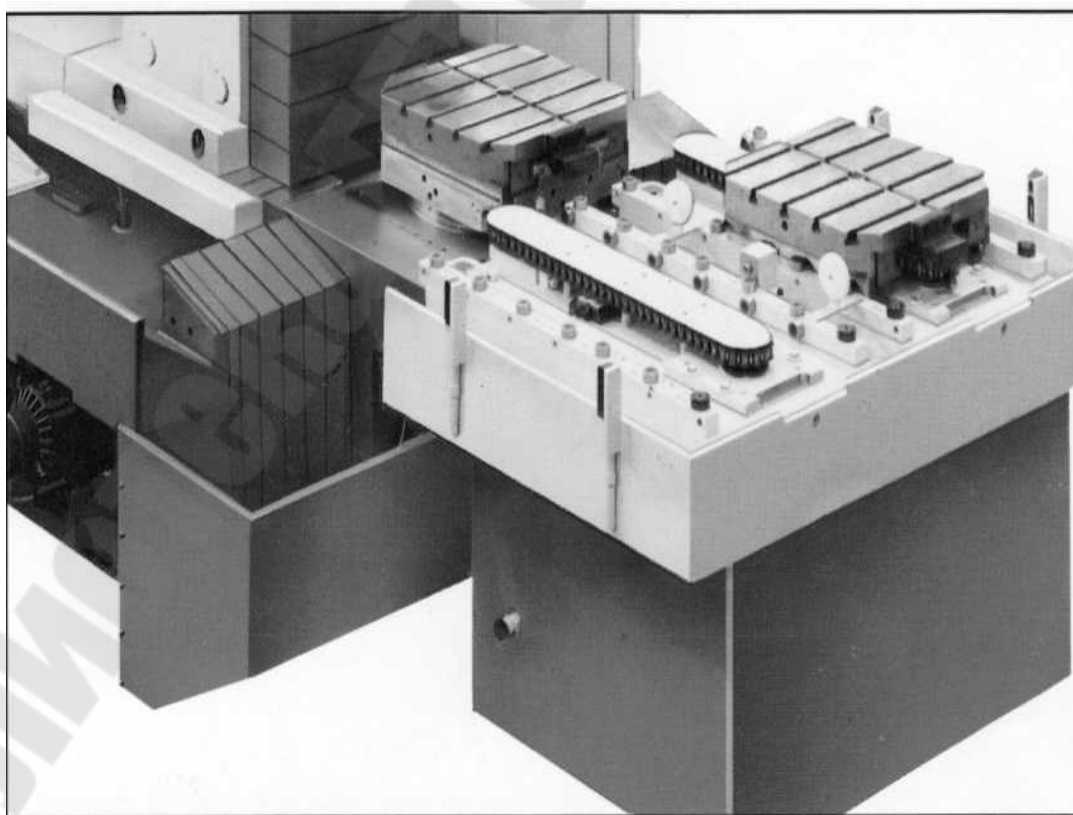
Поэтому рельсовые транспортные тележки используются в основном для прямолинейных перемещений.

Центральная станция первичной загрузки, крепления и освобождения заготовок и готовых изделий состоит из одного или нескольких рабочих мест для наладки, доступные с трёх сторон, которые по желанию исполняются и поворотными, наклоняемыми и с вертикальными перемещением. Удобный доступ и легкое обслуживание гарантируют эргономическое рабочее место.

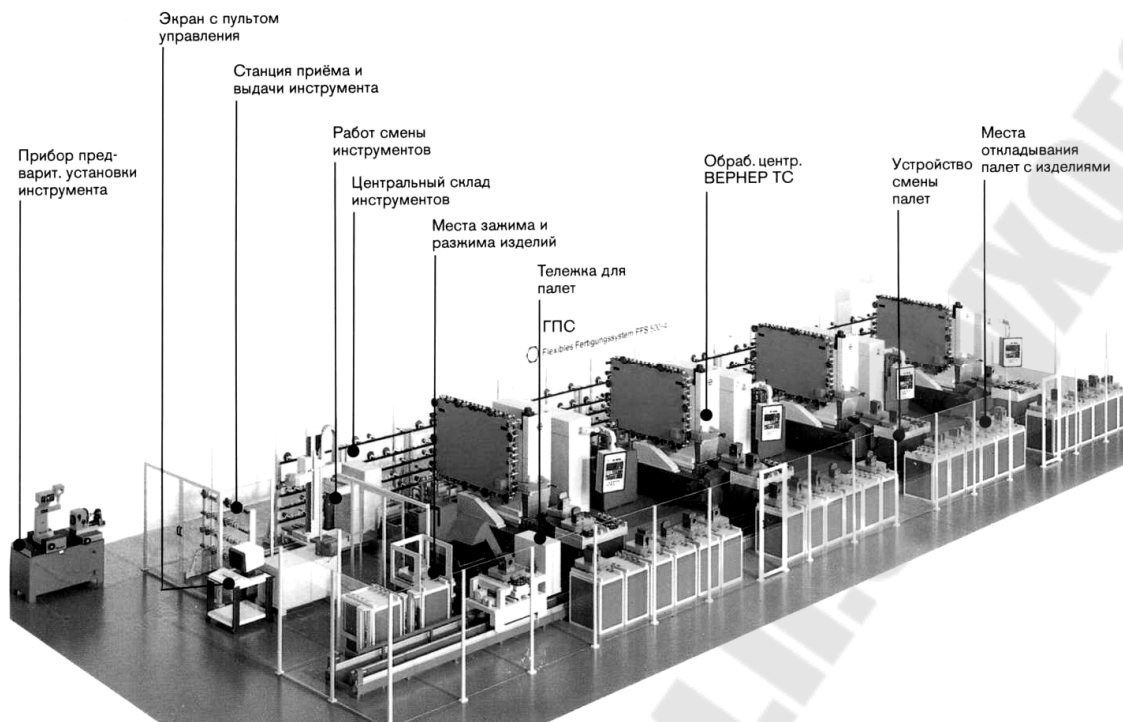


*Рис. 6.13. Центральная станция первичной загрузки.*

Все обрабатывающие центры «ВЕРНЕР ТС» оснащены по стандарту одним скоростным 2-х местным устройством для смены палет. Центральная станция первичной загрузки (заготовок), через которое заготовки перегружаются на паллетах с транспортных тележек в зону обработки и перегружаются готовые детали назад на транспортные тележки.



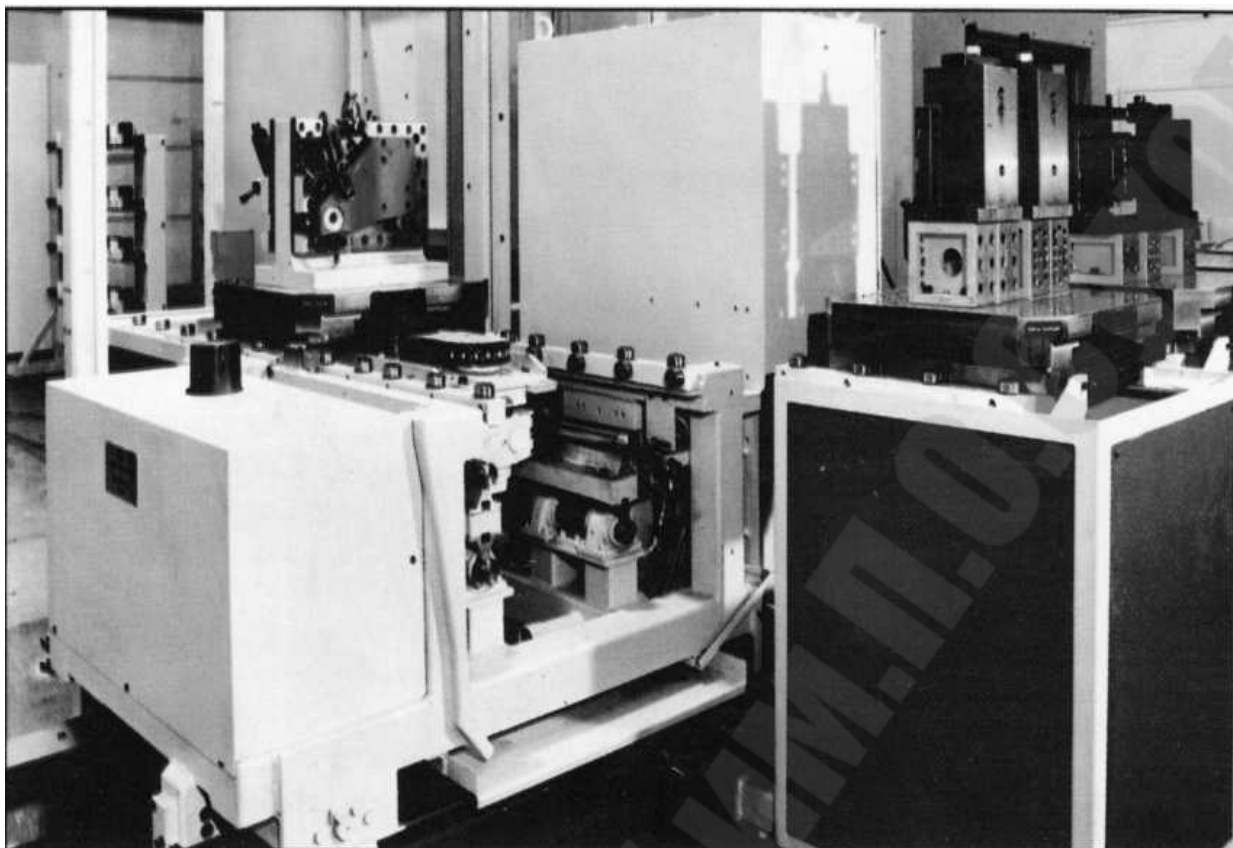
*Рис.6.14. Скоростное 2-х местное устройство для смены палет.*



*Рис.6.15.* ГПЯ с автоматическим снабжением заготовками и инструментами и линейным накопителем палет. Транспортирование готовых изделий к местам обработки и доставка после обработки производится транспортными рельсовыми тележками.

Рельсовые тележки с числовым программным управлением хорошо зарекомендовала себя на практике благодаря своей высокой функциональной надежности и большим скоростям перемещения. Поскольку пути движения относительно короткие, на загрузку обрабатывающих станков отводится минимальное время, что исключает возможные потери времени по причине отсутствия заготовок. Однако, такие тележки имеют недостатки упомянутые выше.

Управление рельсовыми тележками осуществляется от ЭВМ верхнего уровня. Тележка всегда находится на одной из позиций на транспортном пути, определяемой датчиками положения, например, бесконтактными индуктивными или ее положение программируется аналогично как осей в УЧПУ и отслеживается датчиками обратной связи. Привод тележек осуществляется, как правило, частотно-регулируемыми приводами переменного тока с помощью пары шестерня - рейка. В связи с этим ЭВМ всегда контролирует положение и определяет безошибочно местонахождение тележки. Для перемещения, в каком либо направлении в нужную позицию, ЭВМ верхнего уровня задает команду: паллету №... перегрузить на ГПМ №..., паллету №... забрать и перегрузить на накопитель палетоместо №..., или доставить на склад или станцию первичной загрузки для переустановки детали.



*Рис. 6.16. Транспортная рельсовая тележка*

В качестве альтернативы к рельсовым тележкам в настоящее время применяются для транспортировки палет с изделиями индуктивные транспортные тележки (Рис.6.17.)

Преимущества индуктивных транспортных тележек.

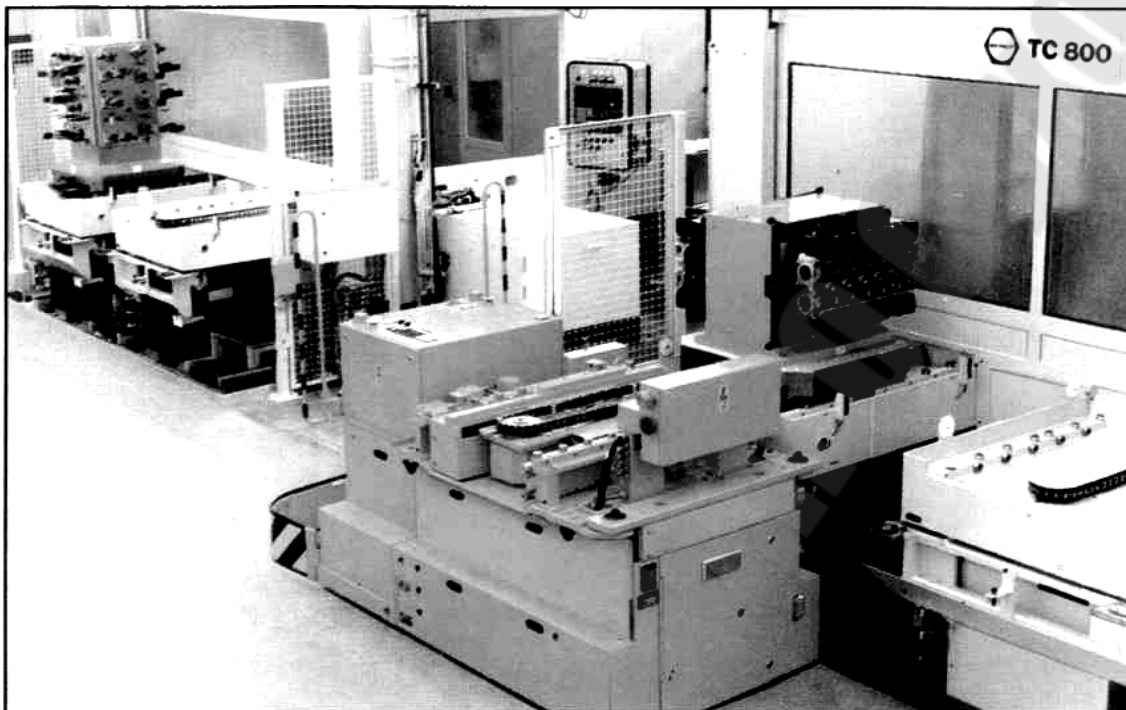
- движение по любому маршруту с изменением направлений на любой угол с ограниченным радиусом поворота;
- бесшумность;
- хороший доступ к станкам.

Недостатки:

- низкие скорости до 10 м/мин;
- энергоснабжение от аккумуляторов, требует время на подзарядку;
- изменение направлений движения затруднено, укладка новых токопроводов на действующем производстве в цехах вызывает определенные проблемы;
- опасность для обслуживающего персонала;

Низкие их скорости движения и более длинные пути требуют зачастую нескольких тележек. Применение индуктивных тележек практикуют на наиболее крупных обрабатывающих центрах. Индуктивные транспортные системы могут выполнять как транспортировку изделий, так и инструмента. Таким образом, достигается унификация транспортных систем. Для передачи палет с изделиями индуктивная транспортная система автоматически подводится к станциям назначения, при этом она механически позиционируется посредством фиксатора доводчи-

ка или на малых(ползучих) скоростях по механическим контактным или бесконтактным индуктивным датчикам. Позиции в которые перемещаются индуктивные тележки распознаются с помощью штрих-кодов или по индуктивным датчикам.



*Рис.6.17. Индуктивная транспортная тележка*

Команды от ЭВМ верхнего уровня передаются по инфракрасным каналам связи. Индуктивные тележки перемещаются по индуктивным токопроводам, заложенным на глубине 40-60 мм от поверхности пола. По токопроводу пропускается ток силой в несколько сотен миллиампер, с частотой 2...20 кГц и напряжением не более 12 В; создается переменное электромагнитное поле, за которым следят датчики индуктивной тележки;

Портальные погрузчики с числовым управлением (рис.6.18) используется для автоматического снабжения заготовками с коротким периодом обработки – в общем, менее 10 мин. на каждое закрепление заготовки. Для этого требуется удобная для манипуляции геометрия заготовки, а также их относительно небольшой вес и небольшие размеры. Таким образом, можно отказаться от использования в качестве транспортного средства большого количества дорогих приспособлений для зажима и возможна обработка без применения палетных систем.

Подача заготовок к портальному погрузчику может осуществляться с помощью индуктивных тележек с размещением заготовок на палетах большого размера (1000x1200) или поддонах. Ориентированная укладка деталей на палеты или поддоны производится вручную.

Заготовки автоматически вкладываются портальным погрузчиком с поддона в гидравлические приспособления для зажима заготовок на обрабатывающих станках и автоматически зажимаются. Применение портальных систем, как правило, предназначено для мелких деталей и весьма рентабельно.

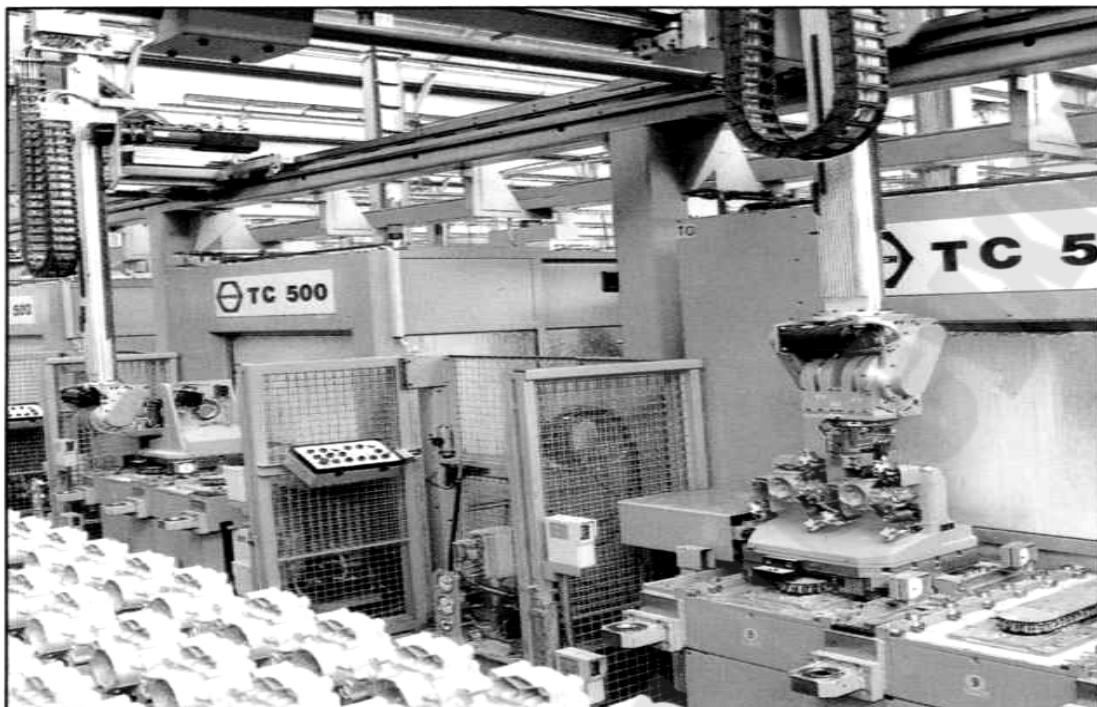


Рис.6.18. Портальный робот манипулятор

### 6.7. Подсистема снабжения инструментами.

Значительные потери во времени использования ручного способа смены инструмента в инструментальных магазинах на обрабатывающих центрах, а также большая доля стоимости инструмента в затратах, заставляют искать возможность за счет управляемого от ЭВМ менеджмента инструментом производить смену задания (наряда) параллельно машинному времени. Кроме того, следует повысить коэффициент использования инструмента и снизить общее наличие инструментов благодаря повышенной возможности их использования (рис. 6.19.) за счет наличия данных об их состоянии (остаточного ресурса стойкости, наличия поломок) и передаче информации ЭВМ.

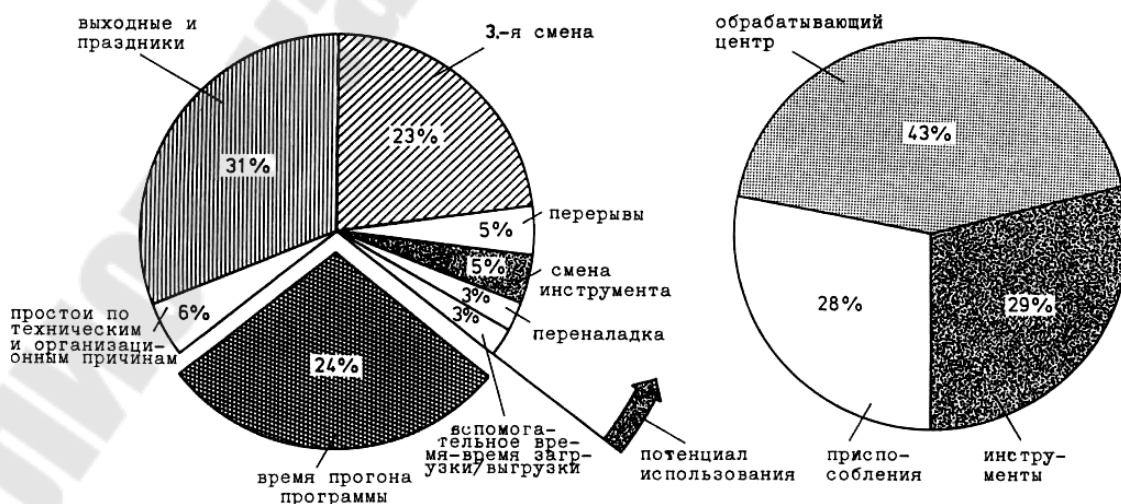


Рис. 6.19. Исходные данные для расчёта: Отдельный обрабатывающий центр, работа в две смены 240 дней, обработка 18-ти наименований изделий; использование 220-ти инструментов, количество приспособлений — 28.



Все это позволяет иметь в готовности большое количество различных инструментов и своевременно использовать их там, где это необходимо

#### **6.7.1. Снабжение инструментом вручную на обрабатывающих центрах.**

В настоящее время инструменты, как на обрабатывающих центрах, так и в ГПС вводятся в магазины иногда комплектами вручную. При этом на складе соответствующие наряду комплекты инструмента укладываются вручную на тележку для инструмента согласно спискам. Если для уменьшения запасов инструмента используются инструменты системы, приходится частично дополнительно к укомплектованным инструментам добавлять инструменты с других обрабатывающих центров. После этого эти отдельные инструменты предварительно настраиваются согласно листу данных, а измеренные значения заносятся в список или выдаются на электронном носителе. Как правило, на все это требуется много времени. Уложенные вручную на тележку инструменты доставляются от места готовности инструмента к соответствующему станку.

По окончании старого наряда на одном из обрабатывающих центров, когда обработаны последние детали наряда, можно приступать к смене наряда. Для этого, прежде всего оператор вынимает из инструментального магазина станка находящийся там инструмент. Затем вводится согласно наряду новый комплект инструментов и производится ручной, а лучше через магнитный носитель, (флэш-память, дискету) ввод данных. После этого в CNC контролируется наличие и готовность инструмента. Только затем можно приступать к обработке первой детали.

По окончании смены наряда замененный инструмент возвращается в зону инструментального склада. Здесь инструмент вновь при необходимости он проверяется на исправность.

При этом возможность использования инструмента повторно для последующих нарядов, как правило, в расчет не принимается. В случае размещенных на складе инструментов, кроме основных данных, дополнительно других данных, например, остаточного периода стойкости или корректирующих данных, в распоряжении не имеется. Таким образом, управление всеми важными данными в процессе общей циркуляции инструмента не обеспечивается.

Подготовка инструмента вручную и замена износившихся инструментов производится таким же способом. При этом необходимый поиск инструмента в магазине или дополнительная загрузка инструмента, вызванная недостатками в планировании потребности в инструменте, приводят также к значительным простоям машины и к высоким издержкам на обслуживание.

Производящаяся все еще комплектами ручная смены инструмента, ясно показывает, что ручное размещение, приведение в состояние готовности, транспортировка и замена инструментов приводит к значительным простоям станка. Кроме того, длительные периоды ожидания и состояния бездействия инструментов при их предварительной настройке, на месте подготовки, намного увеличивают длительность производственного цикла инструмента. К тому же ручной ввод данных по инструменту означает высокие издержки на обслуживание и высокую вероятность ошибок. Значительного улучшения в ведении всего инструментального хозяйства



можно достигнуть за счет управления инструментами на базе ЭВМ, к которому относятся снабжение инструментом и его размещение, а также управление данными по инструменту и их передача.

Это улучшение достигается за счет:







1. Определения с помощью ЭВМ необходимого в данном цикле объема инструментов и выдачи списков на приведение в готовность с учетом остаточного периода стойкости;
2. Быстрой автоматизированной смены инструмента, производимой манипуляторами с управлением оператора;
3. Управления и пополнения банка данных новыми данными по инструменту и непосредственной передачи их на CNC станков;
4. Своевременной, с помощью ЭВМ, подготовки инструмента на основе интеграции приборов предварительной наладки и склада подготовленного инструмента.

В последнее время появились многочисленные решения в области управления инструментами, а также их идентификации. Для идентификации инструментов применяется их кодирование с помощью наклейки штрих кодов после настройки их на приборе предварительной наладки, где шифруется номер инструмента, размерные данные.

### 6.7.2. Способы управления инструментом на базе ЭВМ

Для выполнения различных заданий (нарядов) пользуются различными способами замены инструмента (рис.6.20) имеющие возможность:

1. Накапливать по возможности все необходимые на длительный процесс обработки (всех деталей) инструменты в интегрированном в станке магазине с целью минимизации цикла смены инструмента,
2. Производить параллельную смену инструмента в интегрированном в станке магазине при смене наряда и износе, причем в магазине могут находиться только инструменты, необходимые для обработки по данному наряду.

метод снабжения инструментами	оценочные критерии										
	без потери времени на инструмент	Вариативное к-во смен.инстр.	низкий запас инстр.	сокращение площадей	доступность	наладки на установку на паллетах	пригодность для отдельного станка и ТПС	применяемость при разл.чистой структуре системы	Расход на обслуж. персонал	дополнительные издержки	
накопление инструментов на станке	 большой магазин инструмента	○	●	○	●	●	●	○	●	○	●
	 двухщепной магазин инструмента	○	●	○	●	●	●	○	●	○	○
замена инструментов на станке	 поштучная смена инструмента при помощи робота-манипулятора	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●
	 смена при помощи портативных носителей инструментов	●	○	●	○	●	○	○	●	●	○
	 смена кассет на жестких магазинах	●	○	●	○	●	○	●	●	●	○
	 смена кассет на вращающемся магазине	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●

● хорошо    ○ поср.    ○ плохо

● хорошо ○ поср. ○ плохо

Рис.6.20.Способы замены изношенного инструмента.

Стремление иметь на станках как можно больший, охватывающий несколько нарядов запас инструментов с целью минимизации количества сменных циклов привело к укрупнению интегрированных в станках магазинов до 140 и более гнезд для инструмента (рис.6.20). Недостатком такого решения, является длительное время поиска инструмента в магазине. Кроме того, это не допускает использовать на других станках инструменты, находящиеся в магазине и не используемые в данном наряде обработки. Большое количество находящихся в станке инструментов означает большие запасы инструмента в производстве.

Другим решением для увеличения запаса инструментов на станке является магазин с двойной цепью с двумя работающими независимо друг от друга цепными накопителями (рис.6.20.). Оба магазина размещены на противоположных сторонах колоны станка. Для обработки определенных нарядов используется поочередно один из них, в то время как во втором параллельно к основному машинному времени могут меняться инструменты для последующих нарядов. Если же магазины размещены на одной стороне колоны, как показано на рисунке, то один из них, что находится в пределах захвата устройства смены инструмента, всегда используется в качестве активного, а другой — как накопитель, для ввода и выдачи инструментов. Кроме того, инструменты дополнительно пересортировываются между обоими магазинами, при этом для инструментов с коротким остатком ресурса стойкости, может наступить необходимость замены. В обоих случаях большое число находящихся в интегрированном в станке магазине инструментов приводит к слишком большому общему запасу инструментов в зоне производства.

В снабжении инструментами ГПС параллельно машинному времени (речь идет в основном о взаимозаменяемых обрабатывающих центрах) хорошо зарекомендовали себя робокары, которые снабжают станки из неподвижных стеллажей накопителей через прямую смену инструмента в цепном накопителе. При этом в интегрированном в станке магазине находятся только инструменты, необходимые для обработки (рис. 6.20.). Все остальные инструменты находятся на стеллажах накопителя, готовы к замене для всех работающих станков. За счет такого прямого снабжения инструментом значительно сокращается наличие инструментов. При очень коротком использовании инструмента замена инструмента не всегда может происходить параллельно основному машинному времени станка, приводя таким образом к снижению готовности инструмента к работе.

Следующая возможность предусматривает использование портативных накопителей инструмента с помощью установленных рядом с интегрированным в станке магазином инструмента. После этого дополнительное устройство с манипулятором с двойным захватом меняет в инструментальном магазине инструменты, которые больше не понадобятся, на необходимые для выполнения нового задания (наряда) (рис. 6.20). Затем портативный накопитель инструмента можно вновь отвести. Количество сменяемых при одном цикле транспортировки инструментов ограничивается числом гнезд в портативном накопителе инструмента. При этой возможности в случае очень короткого времени использования инструмента его смена также не может производиться параллельно основному времени станка, приводя, таким образом, к снижению готовности.

В последнее время все большее значение приобретают системы для смены укомплектованных кассет с инструментом, как при смене наряда, так и при износе, непосредственно в интегрированном в станке магазине (рис.6.20).

В неподвижных станочных магазинах инструменты, подлежащие замене при смене наряда, заменяются путем смены специально предусмотренной для этого в магазине кассеты (рис.6.20). Последующая смена кассеты может быть произведена только тогда, когда интегрированный в станке манипулятор произведет замену не нужных больше инструментов на вновь подвезенные в кассете инструменты.

Таким образом, количество инструментов, смена которых происходит одновременно при смене наряда, ограничивается количеством гнезд в кассете. Во вращающихся цепных магазинах при смене наряда после использования инструменты могут непосредственно один за другим выводиться кассетами и таким же образом вводиться. В таком случае количество заменяемых инструментов при смене наряда не ограничено. Таким образом, за счет быстрой смены инструмента путем замены кассеты, а также при непродолжительном использовании инструмента снижение готовности инструмента будет незначительно.

Следующей задачей управления инструментами является снабжение УЧПУ установленными в процессе предварительной настройки инструмента корректирующими данными, а также управление находящимися в системе данными инструмента. Недорогим и удобным решением является портативный терминал, однако, только система ЭВМ позволяет использовать остаточный период стойкости, планирование потребности в инструменте. Непосредственная передача данных, в том числе и на управление данными, позволяющая использовать остаточный период стойкости, а также предсказуемое планирование потребности в инструменте становятся возможными лишь с применением ЭВМ.

### **6.7.3. Снабжение инструментами посредством, управляемого от ЭВМ робота.**

При частой смене нарядов на ГПС хорошо зарекомендовала себя целенаправленная смена инструмента посредством рельсовых устройств манипулирования (роботаров) непосредственно в магазине инструментов обрабатывающего центра (рис. 6.21.).

Вдоль рельсовой системы расположены многоярусные стеллажи для инструментов, места которых можно почти безгранично расширять. Обмен инструментами между складом инструментов, магазином станка и станцией ввода-вывода инструментов производится при помощи робота-тележки. А снабжение инструментами внутри системы происходит путём целенаправленного обмена отдельных инструментов при смене наряда или износе или поломке инструмента — во время работы станка.

Управляемая от ЭВМ система снабжения инструментом состоит из стационарных стеллажных накопителей, станции ввода и выдачи (рис. 6.22.), робота с устройством двойного захвата и прибора предварительной настройки инструмента (рис. 6.23.) с подключением DNC.

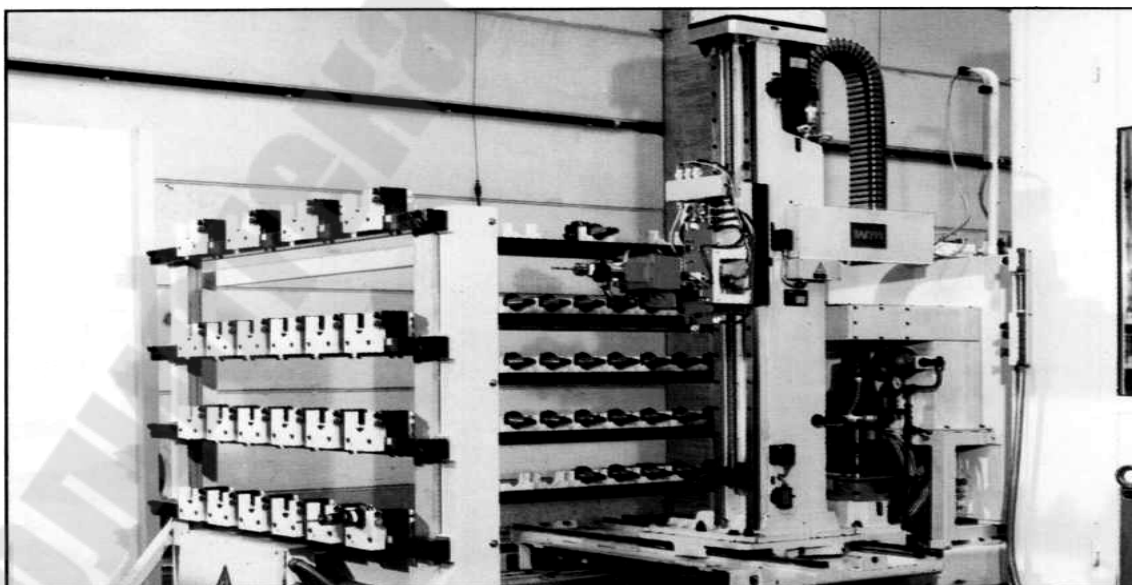
Измерение вновь вводимых инструментов производится на устройстве предварительной наладки инструмента и контролируется непосредственно по индика-

ции на экране. (рис. 6.23) Если измеренные значения находятся в поле допуска, данные инструмента передаются по прямой линии в управление подсистемой.

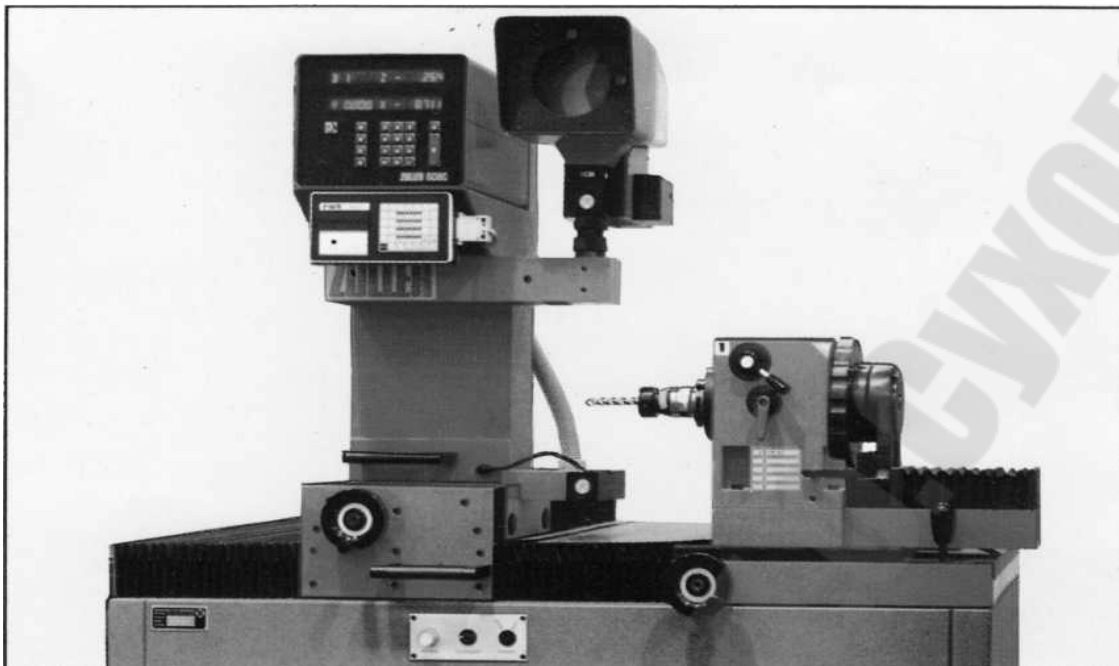


*Рис.6.21.Робокар для замены инструментов непосредственно в магазине инструментов обрабатывающего центра*

Количество гнезд накопителя можно увеличивать почти безгранично. При первоначальном выборе инструмента на хвостовике инструмента автоматически печатается наклейка со штриховым кодом и открытым текстом в протоколе идентификации во избежание путаницы вне системы и сохраняется в памяти управляющей подсистемой ЭВМ. После замены и замера с помощью прибора предварительной наладки (рис.6.23.) инструмент идентифицируется считывающим чипом на станции ввода/выдачи и откладывается в свободное гнездо накопителя.



*Рис. 6.22. Станция ввода и выдачи новых инструментов и вывода изношенных.*



*Рис. 6.23. Прибор предварительной настройки инструмента.*

В управлении ячейкой запоминаются соответствующие установочные параметры, они передаются в режиме «он-лайн» в числовое управление сразу же после того, как произойдет смена

Ввод новых инструментов в систему или вывод изношенных или уже не нужных инструментов из системы производится на центральной станции ввода-вывода инструментов. (рис. 6.23) инструмента в одном из интегрированных в подсистему станков. Управление робокаром производится через встроенную в его CNC.

Автономная смена инструментов между связанными со станком стационарными цепными накопителями и используемым совместно накопителем инструмента, как правило, производится в основное машинное время. При этом не требуется останов станка и становится возможным постоянный непрерывный производственный процесс, поскольку инструменты «целенаправленно» заменяются перед каждой сменой наряда и в конце срока службы или при поломке инструмента. Такой способ дает следующие значительные преимущества:

1. Повышение степени использования станка за счет автоматической смены инструмента в основное машинное время,
2. Снижение издержек на инструменты за счет полного использования периода стойкости каждого инструмента.
3. Сокращение цеховых запасов за счет производства мелких партий изделий.
4. Снижение времени хранения инструмента на складе за счет снабжения нескольких машин из одного общего накопителя инструментов,
5. Снижение издержек на приспособления за счет синхронной обработки нескольких нарядов.

#### **6.7.4 Управление инструментами с помощью инструментальных кассет.**

При быстрой смене инструмента (QTC) на обрабатывающих центрах с цепным накопителем с помощью инструментальных кассет, речь идет о непрерывном

управлении от ЭВМ инструментами, которое наряду с быстрой сменой инструмента и транспортировкой инструмента обеспечивает также предсказуемое, на базе ЭВМ планирование потребности в инструменте, управление данными инструмента и их передача на ЭВМ, предварительная настройка инструмента, а также хранение инструмента на складе.

В качестве инструментоносителей используются гребенчатые кассеты (рис.6.24) и (рис.6.25), оснащенные гнездами для горизонтальной приемки восьми инструментов. В позиции выдачи кассета находится в полном зацеплении со звеньями цепного накопителя. Блокировка или деблокировка звеньев цепи в зоне передачи позволяет в течение самого короткого времени передавать или выбирать как отдельные инструменты, так и в особенности инструменты, находящиеся в зоне передачи. Смена кассеты с 8-ю инструментами продолжается около 30 сек., целенаправленный ввод или выдача 24 инструментов длится 2 мин., а 40 инструментов - 3,5 мин.

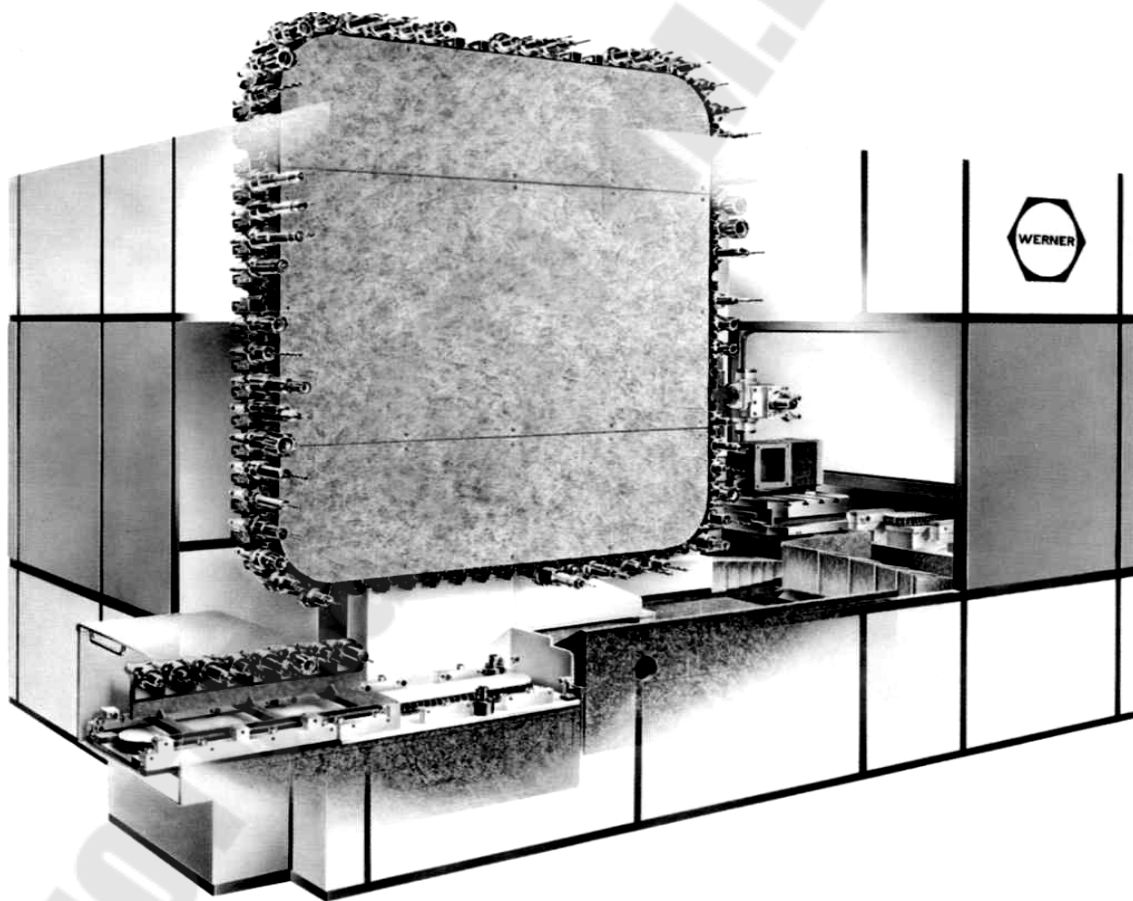
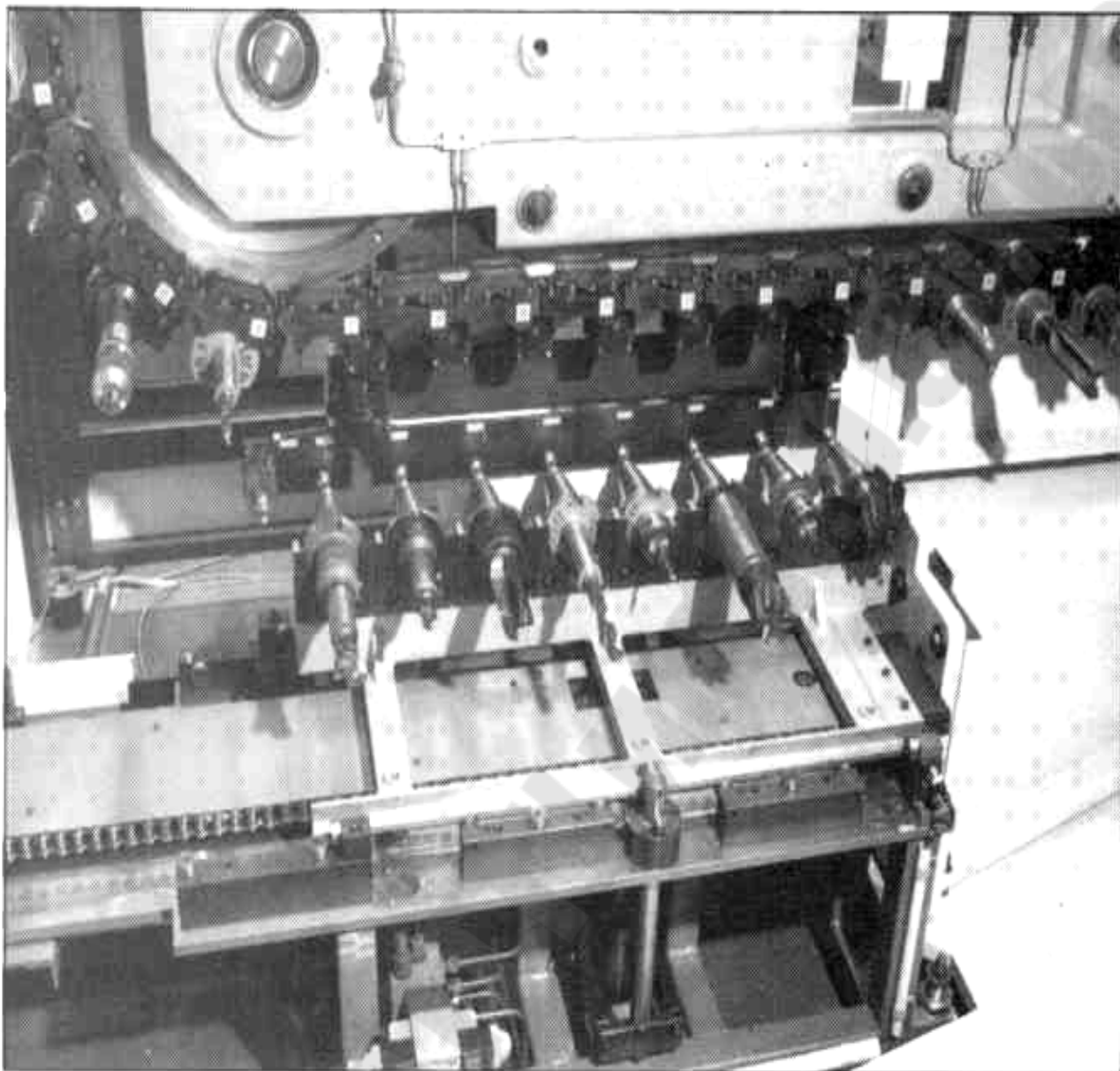


Рис.6.24. Обработывающие центры с цепным магазином и устройством скоростной смены инструментов (QTC)



*Рис. 6.25. Устройство скоростной кассетной сменой инструментов QTC*

В основном положении (рис.6.26.), (рис.6.27) в кассету могут вводиться или выдаваться из кассеты отдельные инструменты вручную. В выдвинутом положении происходит замена изношенных инструментов на взаимозаменяемые. При полностью выдвинутой кассете смена инструментов производится или вручную или же в этом положении происходит автоматическая смена кассеты с подлежащими замене инструментами. Тележка для транспортировки кассет может забрать до 8-ми кассет, так что за один цикл смены можно заменить до 40 инструментов. Тележка может управляться вручную или автоматически.





Рис.6.26. Последовательность операций при смене инструментов в ручном и автоматическом режимах при помощи устройства для скоростной смены инструмента (QTC)



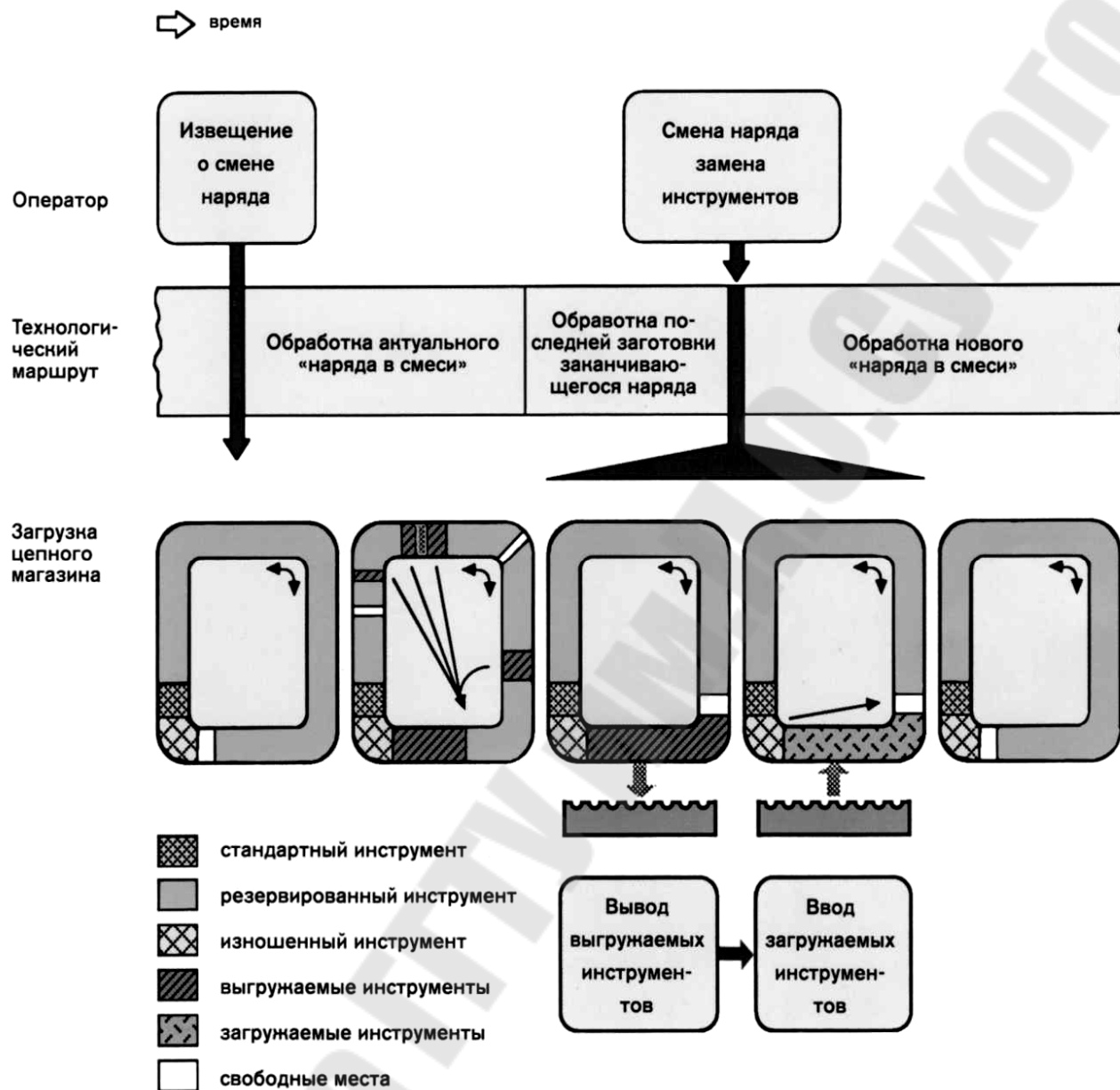


Рис. 6.27. Процесс смены инструментов с помощью устройства скоростной смены инструментов QTC

За счет использования системы быстрой смены инструмента происходит по сравнению с обычной ручной сменой повышение коэффициента использования машины в среднем на 9,5% (рис.6.28). Наряду с достигнутым благодаря этому повышению готовности росту производительности к значительной экономии издержек ведет прежде всего полное использование остаточной стойкости инструмента, определение которой и управление становятся возможными благодаря ЭВМ. Кроме того, такой вид готовности и смены инструмента требует значительного уменьшения издержек на персонал. По сравнению с обычной ручной сменой инструмента способ QTC может позволить снизить производственные расходы на 20-30%. (рис.6.29)

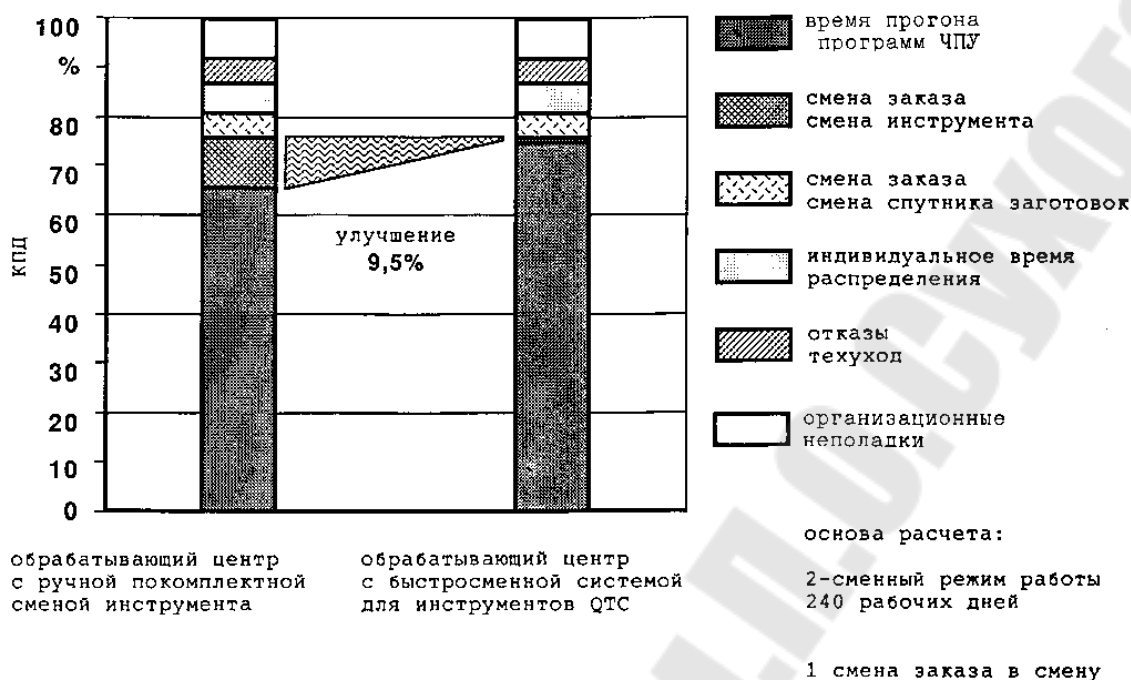


Рис.6.28. Повышение коэффициента использования ГПС благодаря применению скоростной системы замены инструмента QTC.

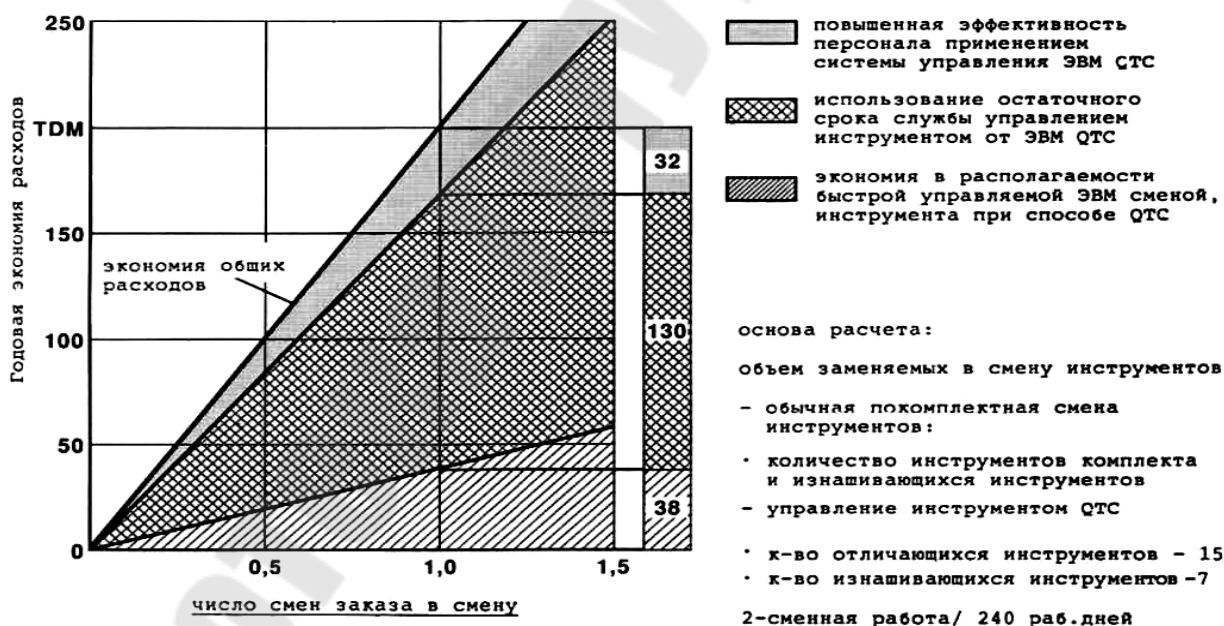
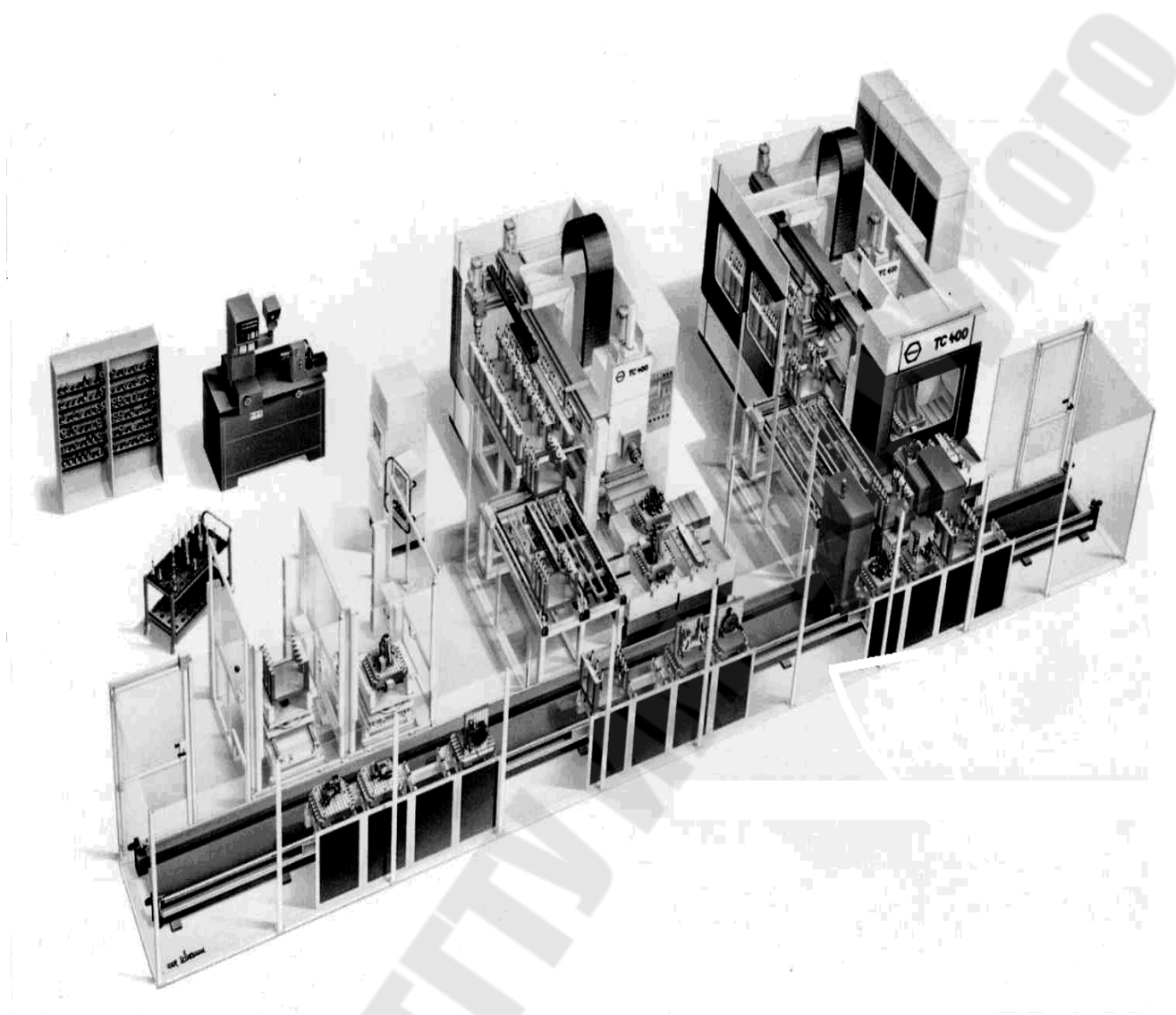


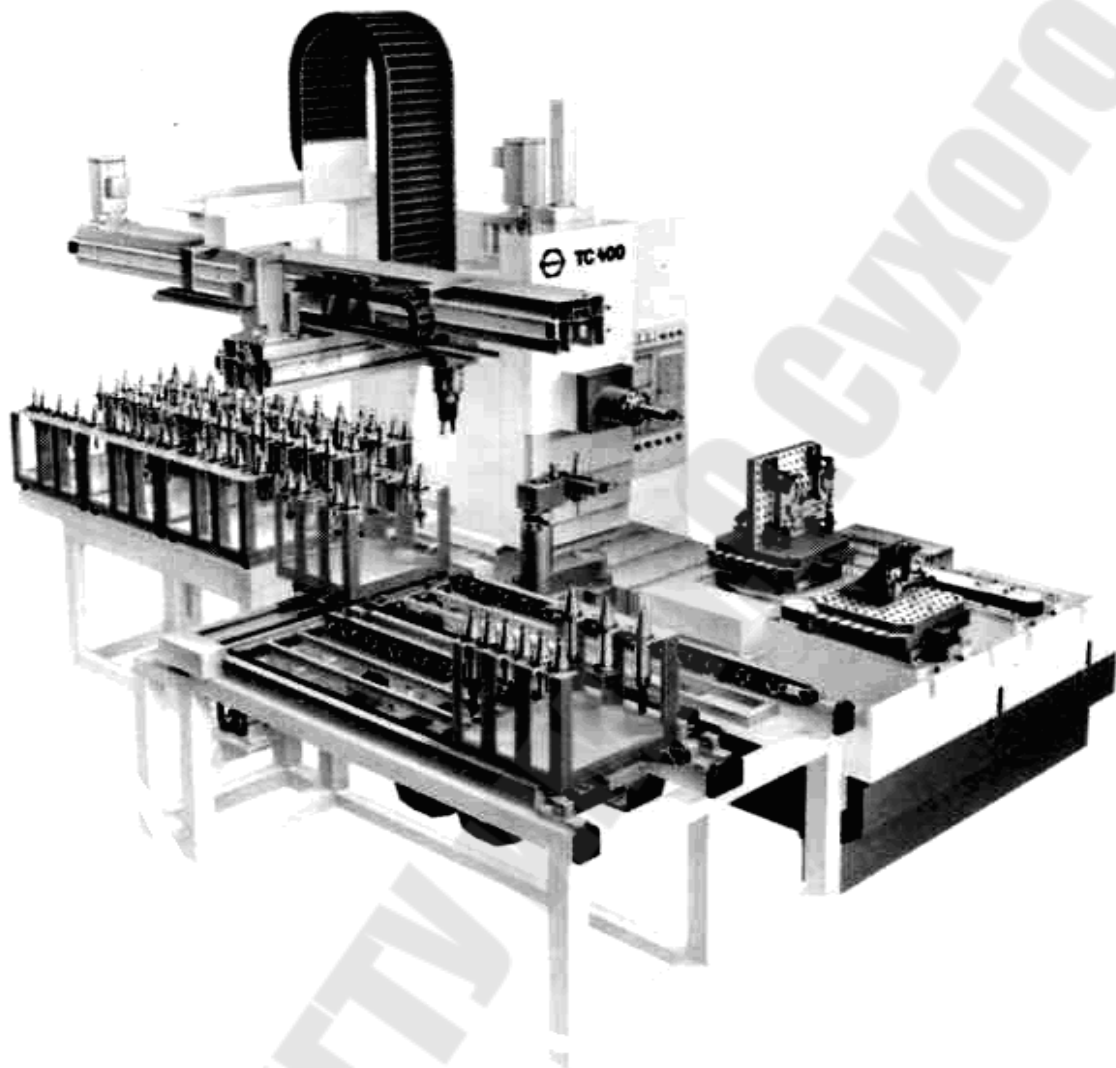
Рис.6.29 Годовая экономия издержек на станок благодаря применению быстросменной системы инструментов «QTC», а также полному использованию срока службы инструментов и повышенная эффективность персонала.

Альтернативной и более эффективной, является ГПЯ с кассетной системой быстрой смены инструмента с использованием единой транспортной системы снабжения заготовками и инструментом. (рис.6.30.), состоящая из 2-х ГПМ (рис.6.31) с порталным роботом для замены инструмента.



*Рис.6.30. Гибкая производственная ячейка с объединенной транспортной системы снабжения заготовками и инструментом.*

Для снабжения инструментами используется объединенная транспортная система снабжения инструментами. Инструменты на станции загрузки инструмента и заготовок вручную устанавливаются в кассеты емкостью до 12 штук. (рис.6.30.) Кассеты выполнены с направляющими аналогично палетам для крепления заготовок и легко интегрируются в систему снабжения заготовками. Для транспортирования палет с заготовками и кассет с инструментами используются единые транспортные рельсовые или индуктивные тележки в зависимости от машинного времени обработки деталей. При малом машинном времени обработки и частой смене палет с заготовками и частой смене заданий на обработку новых деталей используются рельсовые транспортные тележки в связи с их большой скоростью перемещения, достигающей 90м/мин. и выше. При большом машинном времени при обработке крупных деталей и редких сменах заданий на обработку новых деталей могут использоваться индуктивные тележки.



*Рис.6.31. ГПМ с порталным роботом для замены инструмента фирмы «Вернер», интегрируемый в ГПС с единой транспортной системой.*

Транспортные тележки доставляют кассеты с инструментом к перегрузочным устройствам кассет обрабатывающих центров (модулей). На одном перегрузочном устройстве модуля могут разместиться до 6-ти кассет в каждой до 12-ти инструментов. С транспортной тележки кассеты с помощью цепного механизма выталкиваются на перегрузочное устройство обрабатывающих центров и попадают на его роликовую транспортную систему одной из ее ветвей. Роликовая транспортная система перемещает кассету на перегрузочную поперечную ветвь в зону перегрузки порталным роботом инструментов в стационарный кассетный магазин с числом мест от 92-х до 172-х. В пустую кассету робот перегружает инструменты с истекшим ресурсом стойкости и инструменты, вышедшие из строя в результате поломки. После этого кассета по другой ветви подается с помощью роликовой транспортной системы в зону перегрузки на транспортную рельсовую тележку.

Преимущество объединенной транспортной системы снабжения заготовками и инструментом по сравнению с системой QTC заключается в ее меньшей стоимо-

сти и большей гибкости. Возможно, для определенной группы деталей оптимально наращивать или уменьшать количество мест для инструментов в стационарном магазине, который по сравнению с цепным магазином проще, надежнее и дешевле. Открывается хороший доступ к станкам сзади, что важно при их обслуживании и ремонте.

Недостатком является то, что при коротком машинном времени обработки, частых сменах заданий и числе обслуживаемых обрабатывающих центров более 6-ти, возможно, недостаточно быстродействие объединенной транспортной системы для своевременного выполнения всех своих функций.

## 6.8. Подсистема интегрированного контроля за качеством продукции в ГПС.

Работа ГПС с периодами производства, требующими лишь незначительное количество персонала, требует всеобъемлющего контроля, в него входит (рис. 6.32):

1. Контроль за инструментами, участвующими в сверлильных и фрезерных операциях,
2. Измерение заготовок в рабочем помещении машины перед их обработкой, контроль качества изготовленных деталей,
3. Функциональный контроль и диагностика ошибок отдельных компонентов системы.

Контроль за компонентами системы позволяет своевременно обнаружить причины, вызвавшие останов или брак, и принять меры по их устранению с целью повысить готовность системы. Ниже следует описание приборов для контроля за деталями и инструментами, а также устройствами диагностики.

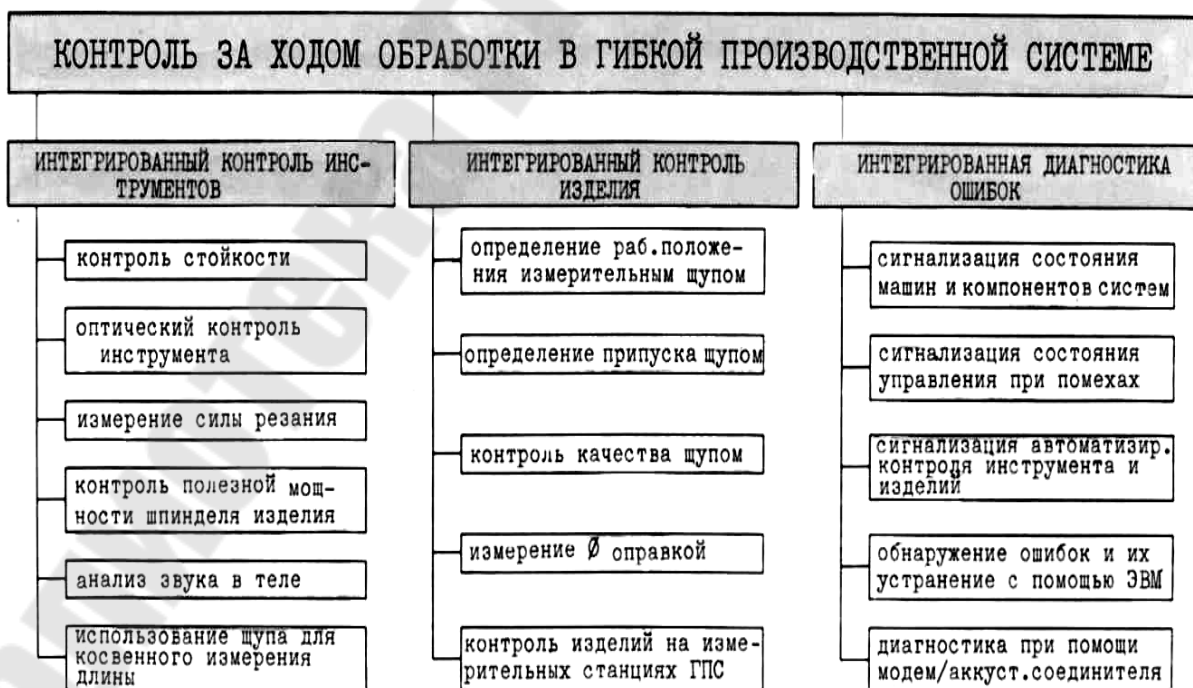


Рис. 6.32. Задачи контроля за качеством в ГПС.

### 6.8.1. Интегрированный контроль за качеством инструментов.

Системы контроля за инструментами имеют задачей обнаружить поломку инструмента и инструменты с дефектами до того, как будет произведен брак или на станке и приспособлении появятся следствия повреждений. При этом должны исключаться последующие обработки, например, нарезание резьбы метчиком после прерванной операции сверления. Для этого используемая система контроля за инструментом должна учитывать специфические требования гибкого производства и соответствующих технологий обработки.

Универсальная система контроля, которую можно было бы применять для разнообразных обрабатывающих операций, пока не существует. Более того, необходимо предлагать приспособленные к отдельному случаю, дополняющие друг друга в своих функциях контрольные системы и стратегии. Наряду со сбором данных по времени выполнения операции инструментом в управлении CNC для контроля стойкости используются системы, с помощью которых сенсорно прямо или косвенно учитывается состояние инструмента.(рис.6.33)



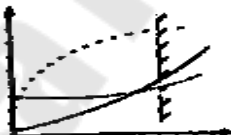

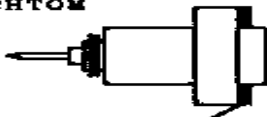
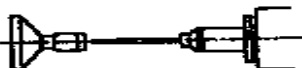
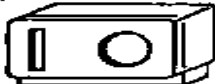


Предварительный контроль процесса	установка на устройстве предварительной установки инструмента 	измерение длины инструмента в магазине инструмента при помощи строчной камеры 
Контроль в ходе процесса		УЗ измерение чувствительный элемент 
		измерение усилий резания динамометрическим элементом 
Пост-процесс-контроль	измерительный шуп для контроля длины и поломки инструмента 	строчная камера для детектирования поломки инструмента и путаной стружки 
	рефлектометр для детектирования поломки сверла 	трёхкоординатный измерительный шуп для косвенного контроля инструмента на изделии 

Рис. 6.33. Система интегрированного контроля за состоянием инструмента.

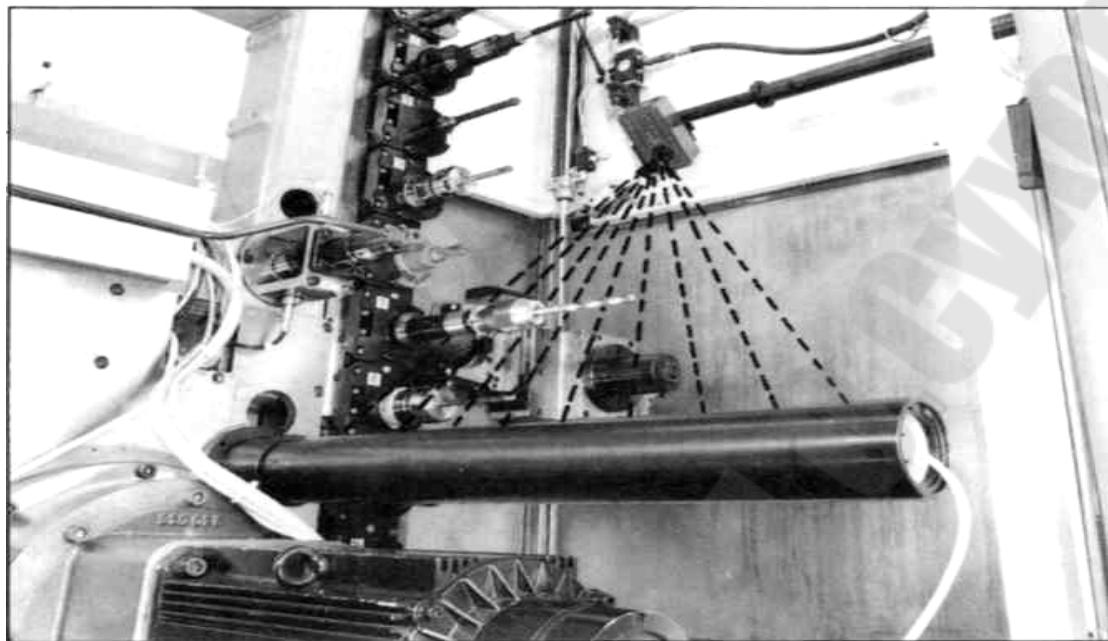


Рис. 6.34. Контроль состояния инструмента при помощи строчной камеры непосредственно после включения инструмента

Применяемые в процессе обработки системы контролируют полезную мощность привода шпинделя, возникающие при обработке силы резания или используют метод анализа шума и вибраций. Измерение полезной мощности двигателя позволяет производить чувствительный контроль потребляемой мощности привода шпинделя изделия во время процесса обработки (рис.6.33). Контролируются относящиеся к шагам обработки предельные значения. Кроме того, применяются системы с динамометрическим и ультразвуковым сенсорами, которые контролируют не постоянные предельные величины, а типичный для поломки характер изменения сил или сигналы шумов, обеспечивая таким образом еще более надежный и всеобъемлющий контроль. Эти системы при достижении сигнала предельных значений изменяют режимы резания, например, уменьшают подачу или скорость резания. Если эти меры не нормализуют процесс обработки, они выдают сигнал на замену инструмента его дублирующим.

Границы применения этих внутриоперационных систем контроля за инструментами приводят к необходимости применения также процессорных систем, как например, измерительных головок или работающих бесконтактно систем с фоторелейными датчиками в рабочей зоне обрабатывающего центра. Для этого после обработки очередной детали автоматически запускается рабочий цикл сенсора и только при идентификации инструмента продолжается дальнейшая обработка. В качестве альтернативы хорошо зарекомендовала себя как система постоянного контроля строчная камера (рис.6.34). Она расположена в зоне инструментального магазина и защищена от СОЖ и стружки. Благодаря оптическому измерению длины перед каждой установкой инструмента в шпиндель, инструменты контролируются на изменение длины, т.е. на поломку, путаную стружку и вытягивание из за-

жимного патрона. Этот процесс контроля производится во время смены инструмента и не приводит к простоям на обрабатывающем центре.

### **6.8.2. Интегрированный контроль за качеством процесса механической обработки**

Работа ГПС в периоды производства при безлюдном или малолюдном обслуживании (третья смена) требует объемлющего контроля, в который входит:

1. Контроль над инструментами, участвующими в сверлильных и фрезерных операциях,

2. Измерение заготовок в рабочей зоне станка перед их обработкой,

3. Контроль количества изготовленных деталей,

4. Функциональный контроль и диагностика ошибок отдельных компонентов системы.

5. Визуальный контроль с помощью установленных непосредственно в зоне обработки детали видеокамер. Для защиты объективов видеокамер от брызг установлены вращающиеся шторки с частотой равной частоте видеокadra. (объяснить как это устроено)

Контроль за компонентами системы позволяет своевременно обнаружить причины вызвавшие остановку или брак, и принять меры по их устранению с целью повысить готовность системы.

В задачу контроля за изделиями входит их идентификация, определение положения с поправкой на сдвиг нуля, контроль за величиной припусков, контроль за циклами обработки и контроль за отклонениями от заданных геометрических параметров. Отклонения от заданных геометрических параметров определяются измерениями в рабочем пространстве станка в близком к системе CNC контрольном диапазоне или координатно-измерительной машиной.

В рабочем пространстве станка используются измерительные щупы, (рис.6.35, рис.6.36), которые устанавливаются в шпиндель станка из магазина инструментов. Поскольку в определение параметров входит и расчет положения салазок несущих шпиндель со щупом, то допустимая погрешность измерения равна не менее 10 мкм и измерительный щуп пригоден скорее для идентификации изделий, определения положения заготовки или, например, определить просверлено ли отверстие для последующего нарезания резьбы в нем.

Для прецизионных измерений предназначены системы с абсолютным измерением, работающие независимо от измерительной системы станка информация от таких оправок в двоично-десятичном коде непосредственно передается в приемник где регистрируется и дешифруется абсолютная величина. Это позволяет регулировать и настраивать автоматически расточные оправки (микроборы) на необходимый диаметр расточки.



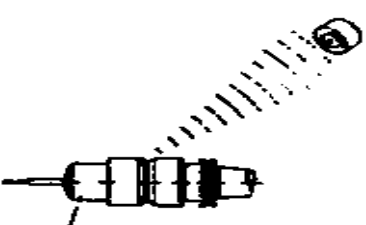
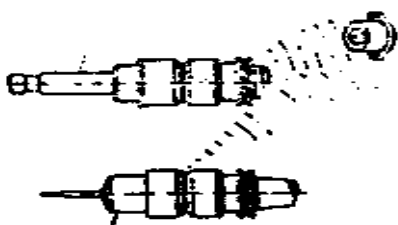
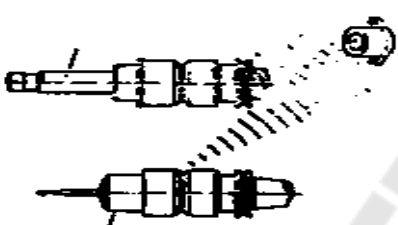
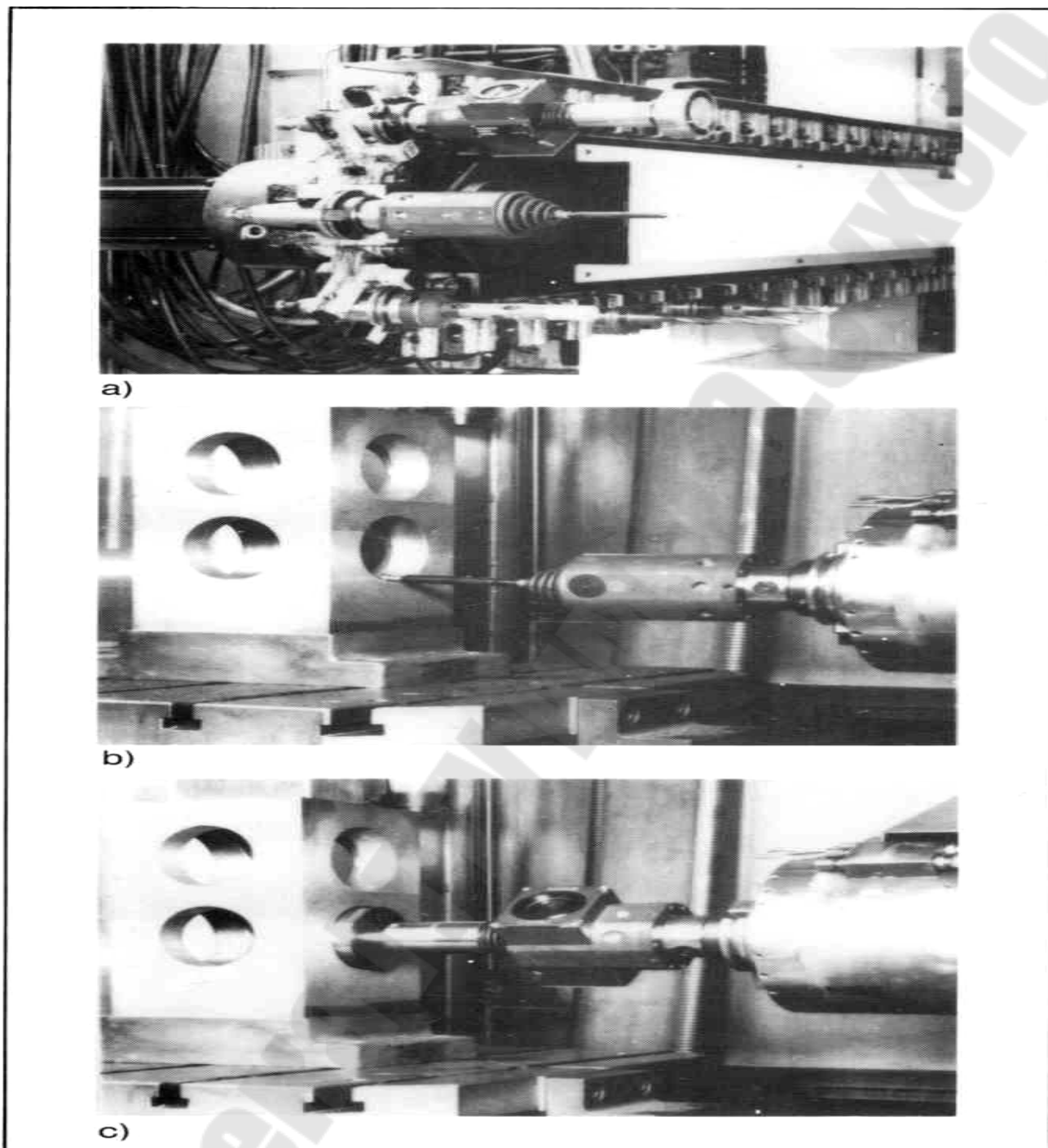
	СИСТЕМА	ПРИМЕНЕНИЕ
	<b>РЕНИШОУ</b> <b>компоненты:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-координатный измерительный шуп</li> </ul> <b>Точность</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• стабильность при повторении <math>\pm 1 \text{ мкм}</math></li> </ul>	Определение положения контуров изделия Определение размера изделия при допустимых погрешностях измерений $\geq 10 \text{ мкм}$
	<b>БЛУМ</b> <b>Компоненты</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-координатный измерительный шуп</li> <li>• переключающая измерительная оправка</li> </ul> <b>Точность</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• стабильность при повторении <math>\pm 1 \text{ мкм}</math> при 2-х координ. шупе и <math>\pm 2 \text{ мкм}</math> при оправке контроля отверстий</li> </ul>	Комбинированное применение 2-координатного шупа и переключающей контрольной оправки Контроль размеров прецизионных отверстий – независимо от измерительной системы самого станка 100% контроль продукции непосредственно после обработки
	<b>МАРПОСС</b> <b>Компоненты</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-коорд.-измерительный шуп</li> <li>• измерит. оправка, диапазон 1мм</li> </ul> <b>Точность</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• стабильность при 3-коорд. шупе <math>\pm 1,5 \text{ мкм}</math></li> <li>• стабильность измеряющей оправки <math>1 \text{ мкм}</math></li> </ul>	Комбинированное применение 3-координатного шупа и измеряющей контрольной оправки Определение фактических размеров прецизионных отверстий в $\text{мкм}$

Рис.6.35. Система интегрированного контроля за качеством изделий

Для прецизионных измерений предназначены системы с абсолютным измерением, работающие независимо от измерительной системы станка. (БЛУМ Система), (рис. 6.35).

Для измерения отверстий используются специальные контрольные оправки. Особые преимущества создают при этом контрольные оправки с измерительными системами ощупывания, поскольку с их помощью можно установить отклонения в микронах, что дает возможность подлежащий регулированию сверлильный инструмент откорректировать с соответственной точностью. Многочисленные задачи измерения следует, однако, выполнять, исходя из экономических соображений, вне рабочей зоны станка. Для этого в зоне производственной системы или в зоне измерительных машин могут быть созданы места для ручного или автоматического измерений.



*Рис.6.36. Измерительный щуп и оправка для контроля отверстий с передачей инфракрасными лучами: а) в магазине инструмента обрабатывающего центра б) и с) при измерении в шпинделе изделия*

В настоящее время предлагаются измерительные машины в качестве автономных измерительных ячеек полностью интегрированных в технологический процесс, которые в автоматическом режиме по программе заданной в УЧПУ машины производят необходимые измерения. Чтобы быстро и без организационных задержек принимать корректирующие меры, измерительная машина должна, во всяком случае в информационно-техническом смысле, составить часть производственной системы. В таком случае автономная измерительная ячейка интегрируется в непо-

средственной близости от производственной системы, но может выполнять измерения и для других областей производства. В зависимости от цели производства, например, при производстве крупносерийном, целесообразным может явиться и дополнительное соединение через транспортное устройство изделий в производственной системе.

### **6.8.3. Система диагностики состояния ГПС.**

К многочисленным мерам по контролю за процессом в ГПС относится также и диагностика ошибок. Предпосылкой для этого является постоянный функциональный контроль обрабатывающих центров и всех системных компонентов. При этом функциональный контроль этих интеллигентных компонентов процесса производится на уровне управления процессом системного управления. Все возникающие помехи регистрируются в массиве данных, где они обрабатываются и индицируются на пульте управления как аварийные сигналы. Если необходимы незамедлительные меры, они принимаются самостоятельно.

Индикация сигналов состояния управлений в случае помех, а также поиск помехи с помощью ЭВМ помогают обслуживающему персоналу в этом случае и способствуют быстрому устранению ошибок, что означает высокую степень готовности системы. Системы экспертных оценок для диагностики в будущем еще более будут оказывать помощь в этом обслуживающему персоналу, что позволит еще быстрее производить диагностику ошибок. В случае, если обслуживающий персонал и техники пользователя не в состоянии устранить ошибки самостоятельно, сервис завода-изготовителя может быстро установить место дефекта и устранить его посредством диагностики через модем или акустический соединитель, поскольку и на заводе индицируются сигналы состояния управлений, что позволяет моделировать помеху.

## **6.9. Выбор инструмента и технологической оснастки в автоматизированном производстве.**

### **6.9.1. Особенности конструкций инструмента и приспособлений в автоматизированном производстве**

Наиболее значительные потери времени при механической обработке в условиях АП связаны с транспортированием, установкой, закреплением, съемом и наладкой инструмента и приспособлений. Поэтому обеспечение повышенной производительности, надежности, гибкости технологических процессов определяет роль и место инструментальной оснастки и приспособлений в АП. Инструментальная оснастка АП состоит не только из режущего и вспомогательного инструментов, но и приборов настройки режущего инструмента и инструментальных головок вне станка, системы автоматической смены инструментов, системы подналадки режущего инструмента, системы диагностики и контроля состояния инструмента и оборудования.

### **6.9.2. Инструментальная оснастка ГПС**

Инструментальная оснастка ГПС имеет свою специфику по конструктивному оформлению, качеству и точности изготовления. Ее производят с жесткими требо-

ваниями по условиям взаимозаменяемости, она должна быть более жесткой, массивной и виброустойчивой, чем в условиях неавтоматизированного производства.

Для обеспечения заданной точности при обработке широкой номенклатуры сложных и часто дорогих деталей без применения специальных приспособлений режущий инструмент должен обладать:

1. Высокой режущей способностью и надежностью (благодаря использованию наиболее совершенных инструментальных материалов);
2. Повышенной точностью (за счет изготовления инструментов по специальным ужесточенным стандартам);
3. Универсальностью, позволяющей обрабатывать сложные детали за один автоматический цикл; высокой жесткостью и виброустойчивостью; быстросменностью;
4. Возможностью автоматической настройки и поднастройки.

Материал режущего инструмента, работающего в ГПС, должен обеспечивать стабильность режущих свойств:

1. Повышенную общую и особенно размерную нормированную стойкость;
2. Высокую надежность.

Существует ряд путей реализации указанных требований:

1. Применение дорогостоящих, но обладающих высокими режущими свойствами, быстрорежущих сталей (P18, P18Ф2, P18K5, P18Ф2K5, P14Ф4, P10K5Ф5, P9K5, P9Ф5);
2. Обеспечение мелкозернистой структуры сталей (например, за счет добавления ванадия);
3. Обеспечение баллакарбидной неоднородности (два и менее) за счет многократной проковки;
4. Применение твердых сплавов, обладающих прежде всего повышенной износостойкостью (сплавы с высоким содержанием титана (Ti) и низким содержанием кобальта (Co));
5. Применение износостойких покрытий (азотирование, карбонит-рация, плазменное напыление и др.).

Твердые сплавы склонны к выкрашиванию, поэтому при работе с ударными нагрузками лучше применять сплавы с высоким содержанием кобальта, например, твердый сплав ВК8, имеющие невысокую размерную стойкость, но очень высокую стойкость к ударным нагрузкам (за счет большого процента содержания кобальта, играющего роль связующего элемента). Повышенную износостойкость имеют сплавы с большим содержанием титана. Например, сплав Т30К4 (30 % Ti и 4 % Co) имеет повышенную износостойкость, однако он очень хрупкий, поэтому его нельзя применять для работы с ударными нагрузками и вибрациями.

Для обеспечения необходимой точности обработки, размерной стойкости и быстросменности инструмента в условиях АП применяют сменные многогранные пластины (СМП), которые механически крепятся в гнезде державки. В комплект поставки одного инструмента может входить несколько десятков режущих пластин из твердых сплавов и композитов, в том числе с износостойкими покрытиями.

Следующим шагом в направлении совершенствования инструмента, является система блочного инструмента, впервые предложенная фирмой «Сандвик коро-

мант» (Швеция). Сущность системы состоит в том, что державку резца делают из двух частей: корпуса и головки. Корпус постоянно закреплен в суппорте или револьверной головке, а при автоматической смене инструмента заменяется только головка, снабженная СМП. По мере изнашивания пластина поворачивается или заменяется. При этом используют малогабаритные манипуляторы и магазины для размещения головок.

На многооперационных станках с ЧПУ и гибких производственных модулях применяют те же режущие инструменты, что и на отдельных станках с ЧПУ (токарных, фрезерных, сверлильных и др.). Различие состоит в том, что и универсальный, и специальный режущий инструмент включен в состав системы инструментальной оснастки, основой которой служит универсальная унифицированная подсистема вспомогательного инструмента, предназначенная для токарных и фрезерных станков разных моделей. В систему (рис.6.35; рис.6.36; рис.6.37.) входят наборы оправок, цанговых патронов, переходных втулок, державок и прочих приспособлений, которые необходимы для выполнения всех основных видов обработки поверхностей деталей.

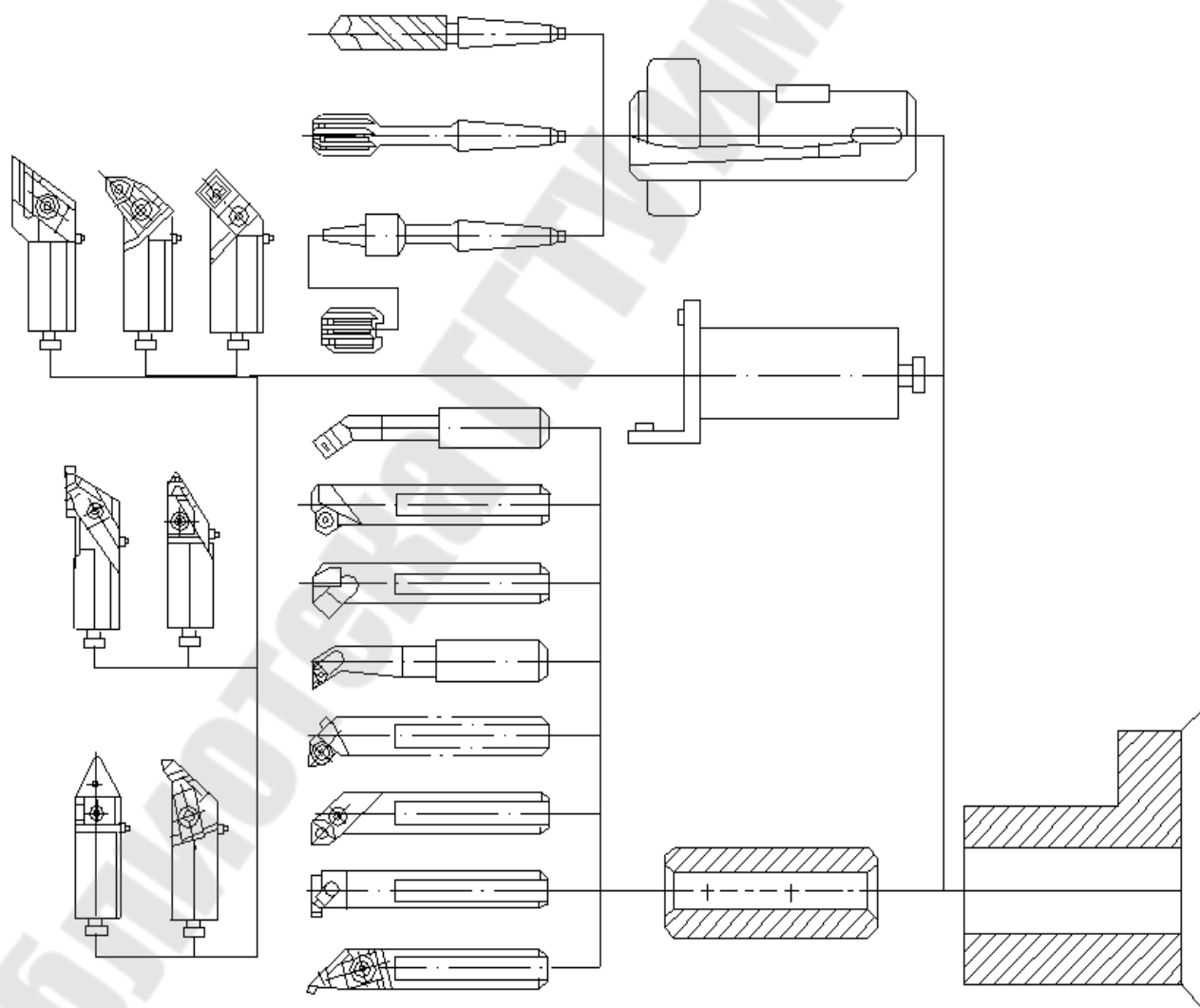


Рис.6.37. Комплект режущего инструмента для токарного станка с УЧПУ модели 16K20Ф3

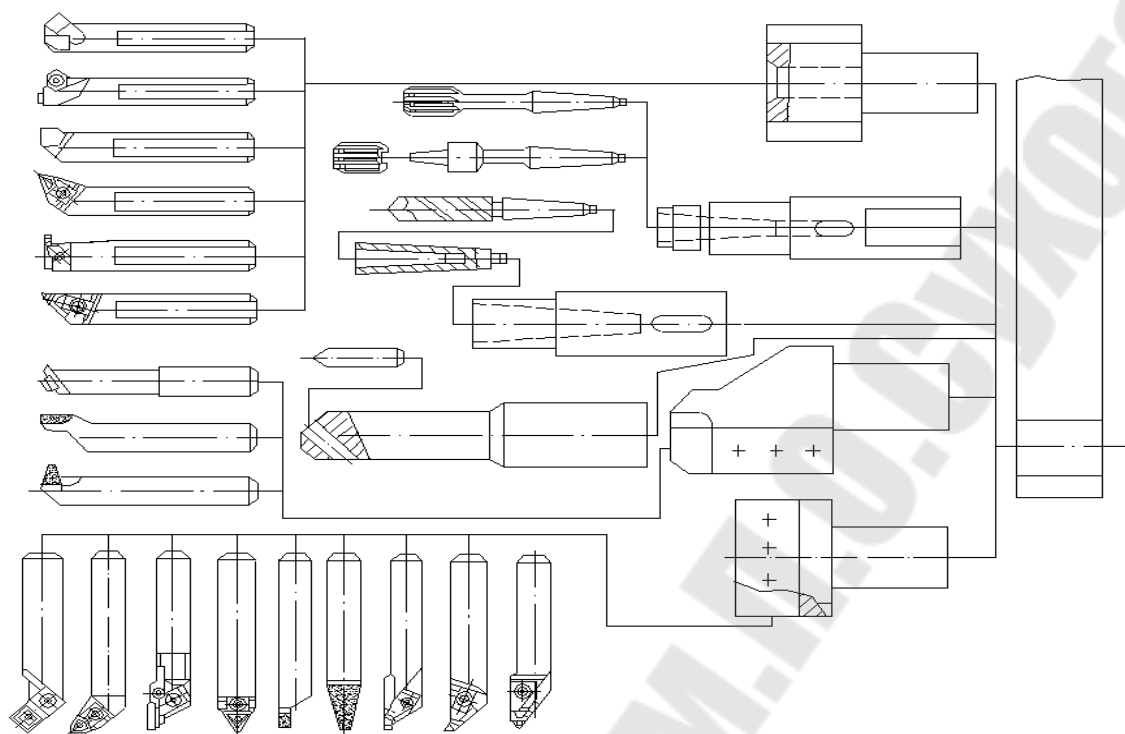


Рис.6.38. Комплект режущего инструмента для токарного станка с УЧПУ модели 1740PФ3

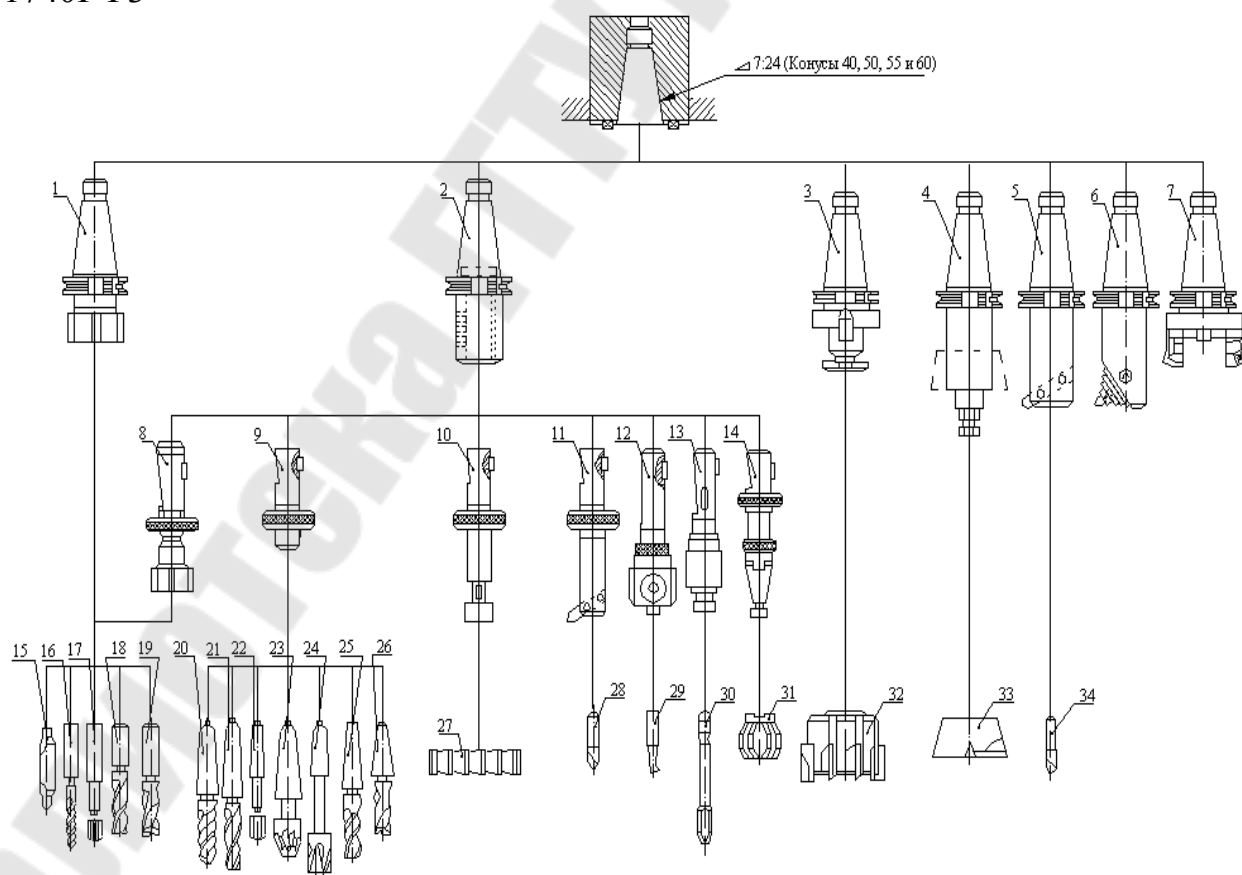


Рис.6.39 Типовой технологический комплект для многоцелевых сверлильно - фрезерно - расточных станков с ЧПУ

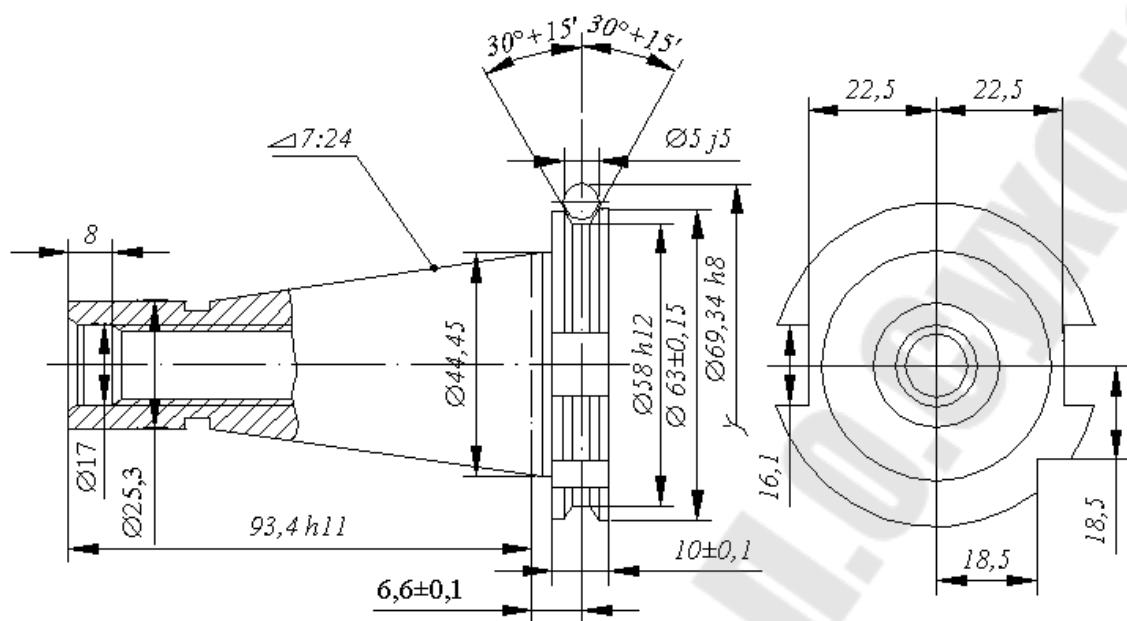


Рис.6.40. Инструментальные оправки с конусом 7:24 для автоматической смены инструмента в сверлильно-фрезерно-расточных станках. Конус шпинделя 40

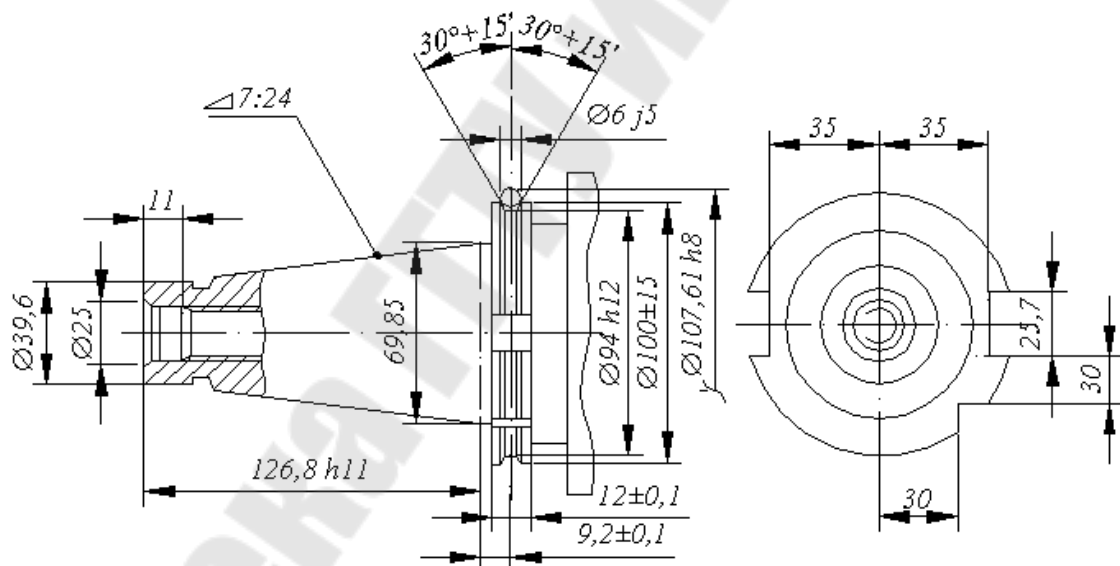


Рис.6.41. Инструментальные оправки с конусом 7:24 для автоматической смены инструмента в сверлильно-фрезерно-расточных станках. Конус шпинделя 50

Типовые оправки (рис.6.38;рис.6.39.) для крепления режущего инструмента на оборудовании с ЧПУ имеют следующие характерные поверхности:

1. Для силового зажима оправки в шпинделе станка и в некоторых случаях для установки элементов, кодирующих номер инструмента;
2. Для базирования в шпинделе станка;
3. Контактирующие с захватами автоматической руки;
4. Для установки и закрепления режущего и вспомогательного инструментов.

Вспомогательный инструмент служит для соединения режущих инструментов со шпинделями станков или суппортами. Конструкция вспомогательного инстру-

мента определяется присоединительными поверхностями, предназначенными для крепления на станке и режущем инструменте. При выборе оптимальных конструкций вспомогательного инструмента руководствуются следующими критериями: универсальность, жесткость, быстросменность, переналаживаемость, надежность, которые определяют, исходя из основного критерия — эффективности эксплуатации.

Вспомогательный инструмент, как правило, представляет собой многоинструментальную головку, которую настраивают и заменяют в зависимости от стойкости «лимитирующего инструмента», т. е. инструмента, работающего в наиболее напряженном ритме. Быстрая смена многоинструментальной державки дает возможность снизить потери по инструменту.

К присоединительным поверхностям вспомогательного инструмента предъявляют довольно жесткие требования: шероховатость должна находиться в пределах  $R_a = 0,2 \dots 0,8$  мкм; твердость  $HRC_g = 50-60$ .

Для деталей с присоединительными поверхностями рекомендуют сталь 18ХГТ с цементацией на глубину 0,1... 1,2 мм и последующей закалкой.

Для изготовления зажимных цанг рекомендуется сталь марки 60С2А с закалкой  $HRC_g = 45-55$ . Поводки и сухари для передачи крутящих моментов изготавливают из стали 40Х с закалкой  $HRC_g = 45-50$ .

Кодирование инструментов особенно необходимо при их использовании на многооперационных станках с ЧПУ, в инструментальных магазинах. При многоинструментальной обработке все инструменты должны работать в определенной последовательности в соответствии с управляющей программой (УП). Поэтому необходима система поиска и кодирования инструмента. В конструкциях МС применяют две системы поиска режущего инструмента:

1. С кодированием номера инструмента;
2. С кодированием номера гнезда инструмента;

В ГПС применяется в основном система с кодированием номера инструмента.

### **6.9.3. Размерная настройка инструмента**

Настройку режущего инструмента в условиях АП можно производить вне станка по методу полной и неполной взаимозаменяемости и на станке с использованием станочных средств контроля. Для настройки режущего инструмента вне станка применяют специальные многокоординатные оптические приспособления, и хотя время настройки является совмещенным, затем, как правило, требуется дополнительная настройка по результатам пробного прохода (метод неполной взаимозаменяемости). Кроме того, настройка вне станка не может устранить погрешности, возникшие в результате многократного использования одного и того же инструмента, она требует специального оборудования и производственных площадей для его установки.

Более предпочтителен в условиях АП метод настройки по результатам измерения деталей на станке, что характерно для обработки корпусных деталей, и режущих кромок самого инструмента. Эффективным решением является оснащение станков автоматическими системами комбинированной настройки по результатам измерения детали и инструмента. Для этого используются измерительные датчики



типа «Ренешоу», «Марпосс», СКБ ИС и датчики касания. Датчики типа «Ренешоу» встраиваются в инструментальную оправку станков с УЧПУ, устанавливаются манипулятором в шпиндель и передают информацию по инфракрасному беспроводному каналу в УЧПУ. Диапазон измерения невелик, в пределах 10-30мм, и применяется для измерения отклонений плоских и круглых поверхностей от заданной величины. Измерения могут проводиться в автоматическом режиме без прерывания программы обработки и автоматически корректироваться размеры при их отклонении от заданных. Также с помощью этого датчика возможно сканирование различных криволинейных поверхностей с последующей передачей информации в память УЧПУ с дальнейшим преобразованием ее в технологическую программу. Для этого УЧПУ должно обладать такой функцией.

Датчики касания служат для косвенных, относительных измерений длины инструмента, положения поверхностей детали. Измерительные датчики при касании передают по инфракрасным каналам импульсную информацию, аналогично фотоимпульсным датчикам обратной связи, которые широко применяются в современных станках с УЧПУ, которая преобразуется в УЧПУ в цифровую.

Датчики касания при касании их контактной поверхности выдают один или несколько сигналов по которым УЧПУ считывает со своей измерительной системы размер и сравнивает его с ранее запомненным размером и вносит изменения, например, в размер корректора.

При обработке заготовок на автоматизированном оборудовании необходимо обеспечить стабильность размеров обрабатываемых поверхностей. Это можно сделать за счет компенсации влияния размерного износа путем автоматического введения подналадочных импульсов при обработке для перемещения инструмента к детали, т. е. в «плюс», или от детали, т. е. в «минус». Величина перемещений и их частота зависят от износа инструмента, определяемого условиями обработки, материалом инструмента и детали, геометрией и стойкостью инструмента. Для осуществления поднастройки используют результаты измерения как детали, так и инструмента на станке. Текущее значение вылета инструмента сравнивают с заданным по программе. Величину рассогласования используют для коррекции управляющей программы. Аналогично используют результаты измерения текущих размеров деталей.

#### **6.9.4. Применение приспособлений в условиях автоматизированного производства**

Для установки деталей в АП применяют автоматизированные стационарные приспособления и приспособления-спутники. Последние служат для установки заготовок не только для их последующей обработки, но и транспортирования в соответствии с требованиями ТП. Установленная на спутнике деталь или группа деталей закрепляется и переходит от операции к операции, разгружаясь в конце технологического процесса и возвращаясь в его начало для новой загрузки.

Различают три вида стационарных приспособлений: специальные (одноцелевые, непереналаживаемые), специализированные (узкоцелевые, ограниченно переналаживаемые), универсальные (многоцелевые, широко переналаживаемые). В отличие от мелкосерийного производства, где применяют немеханизированные нала-

дочные приспособления, в автоматизированном серийном и крупносерийном производстве применяют пневматические или гидравлические приспособления.

Характерной особенностью приспособлений является их быстрая переналаживаемость на основе унификации элементов базирования, фиксации, закрепления.

В качестве зажимных механизмов автоматизированных приспособлений используют рычажные, клиновые, клино-плунжерные, рычажно-шарнирные, реечные, винтовые, тарельчатые пружины и другие механизмы с пневмо- и гидроприводами. Необходимым условием надежной и длительной работы приспособлений является применение в них специальных блокирующих устройств, не допускающих превышения сил зажима больше заданной величины во избежание повышенных деформаций изделий и корпусов приспособлений, а также самопроизвольного разжима деталей.

Приводы механизмов зажима должны обеспечивать возможность регулировки силы зажима в определенных пределах. Этому требованию удовлетворяют гидроприводы, пневмогидроприводы и пневмоприводы.

Кроме них в автоматизированных приспособлениях используют магнитные и электромагнитные, вакуумные, электромеханические приводы и наборы тарельчатых пружин.

Приспособление-спутник состоит из двух частей: нижней нормализованной с привернутыми элементами для базирования и фиксации на станках и верхней специальной (сменной наладки) для установки и закрепления изделий, имеющие, как правило, сетку отверстий для крепления приспособлений и их элементов или Т-образные пазы.

Базами для приспособлений могут служить центральное отверстие, торцы спутника и центральный Т-образный паз.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ**

### **7.1. Определение структуры и основных характеристик производственного процесса**

Проектирование автоматизированных сборочных производственных процессов начинают с формирования массивов информации исходных данных, к которым относятся: номенклатура изделий, подлежащих изготовлению и предполагаемый объем выпуска; ресурсы; регламентируемые условия производства; критерий оценки проектных решений. Затем выбирают номенклатуру изделий, анализируют их конструктивно-технологические признаки, формируют групповые технологии, определяют число групп оборудования, число единиц оборудования в каждой группе, формируют структуру производства, определяют коэффициенты загрузки оборудования, решают вопросы рационального распределения фонда времени работы оборудования.

Затем осуществляют системный анализ проектируемых вариантов, отражающих характеристики производственных процессов. На этом этапе рассматривают вопросы рационального использования фонда времени, работы оборудования, режимов его работы, качества производственного процесса.

Под последним понимают уровни незавершенного производства и его составляющие в очередях в стадиях обработки и сборки, продолжительность производственного цикла, скорости производственного процесса и его этапов, производительность оборудования.

Далее решают задачи построения производственного процесса:

- 1 Специализации и концентрации производства; создания участков по детальной и поддетально-групповой специализации;
2. Организации многономенклатурных групповых линий;
3. Формирования РТК и гибких производственных модулей;
4. Оперативно-календарного планирования.

К задачам оперативно-календарного планирования и управления относятся разработка линейных поддетально-пооперационных календарных планов-графиков, построение оперативно сменно-суточных календарных планов-графиков, оперативный учет, контроль и регулирование производства.

Автоматическую сборку в основном используют в массовом производстве. Сроки окупаемости средств автоматизации часто превышают предполагаемую длительность выпуска изделий. В таких случаях автоматизацию проводят, используя быстропереналаживаемое сборочное оборудование, принципы групповой технологии, типизацию ТП. Автоматическое сборочное оборудование создают из типовых узлов и исполнительных механизмов. В условиях серийного производства применяют сборочные роботы.

В мелкосерийном и единичном производстве автоматическая сборка выполняется специализированным оборудованием с программным управлением и роботами. Автоматизируется в основном узловая сборка. Автоматизацию общей сборки используют лишь для изделий простой конструкции.

## **7.2. Последовательность проектирования технологического процесса автоматической сборки.**

При разработке ТП автоматической сборки технолог-сборщик или группа технологов должны определить состав выпускаемого изделия, технологический маршрут операций и приемы сборки, выбрать оборудование или разработать структуру сборочного оборудования, выполнить экономический анализ, обоснование и расчет выбранного варианта автоматизации, рассчитать режимы оборудования, осуществить специальные исследования. Разработанный ТП автоматической сборки является основой конструкторской, строительной, транспортной, энергетической и организационной частей проекта. На основе технологии определяют потребность в оборудовании, производственную площадь, рабочую силу, основные и вспомогательные материалы, решают вопросы специализации, кооперирования сборочного производства.

Технологический процесс автоматической сборки изделия включает следующие этапы:

- 1.Подготовку деталей и комплектующих изделий (промывка, очистка, деконсервация, предварительный или 100 % -ный контроль комплектования и т. д.);

2. Загрузку сопрягаемых деталей в бункерные, магазинные, кассетные и другие загрузочные устройства в предварительно или окончательно ориентированном положении;

3. Захват, отсекаание и подачу сопрягаемых деталей в ориентирующие и базирующие устройства сборочного приспособления;

4. Ориентацию сопрягаемых деталей на сборочной позиции с точностью, обеспечивающей собираемость соединений;

5. Соединение и фиксацию сопряженных деталей с требуемой точностью;

6. Контроль требуемой точности относительного положения сопряженных деталей или сборочной единицы;

7. Выполнение послесборочных операций (например, контроль на выходе, заправка смазочными материалами, топливом, испытание, регулирование, балансировка, маркировка, упаковка, счет, учет).

Построение ТП зависит прежде всего от конструктивных особенностей пускаемых изделий — габаритных размеров, числа входящих в изделие деталей и сборочных единиц, характера и сложности соединений. Особенности собираемого изделия и программа выпуска определяют структурную схему ТП автоматической сборки, последовательность выполнения его операций, их повторяемость, параметры автоматического оборудования и условия его настройки. Нерационально спроектированная технология вызывает потери времени при эксплуатации сборочного оборудования. При проектировании ТП автоматической сборки необходимо учитывать:

- программу выпуска изделий;
- технологичность конструкции изделия и составляющих его элементов;
- обеспечение качества собираемого изделия;
- распределение переходов по сборочным позициям по времени их выполнения;
- точность и надежность относительной ориентации сопрягаемых деталей соединений;
- надежность выполнения соединений; контроль качества собираемого изделия или его частей;
- наладочные параметры сборочных устройств;
- организацию производства.

Последовательность этапов проектирования технологии сборки показана на рис. 7.1.

#### 1. Сбор исходных данных.

К исходным данным для проектирования ТП автоматической сборки относятся: информация сборочных чертежей и технических условий или формализованное описание объектов сборки; технико-экономические требования, содержащие сведения о номенклатуре и программе выпуска изделий, производительности и стоимости сборочного оборудования, сроках освоения выпуска, допустимом времени сборки; технические требования (точность сборки, условие работы изделия и т. д.).

#### 2. Анализ исходных данных.

В сборочном чертеже изделия должны быть приведены: нужные проекции и разрезы; спецификация составляющих его элементов; посадки в сопряжениях; мас-

са изделия и его составных частей. В технических условиях должны быть указаны: точность сборки, качество сопряжений, их герметичность, жесткость стыков, моменты затяжки резьбовых соединений, точность балансировки вращающихся частей, методы выполнения соединений, желательная последовательность сборки, методы промежуточного и окончательного контроля изделий

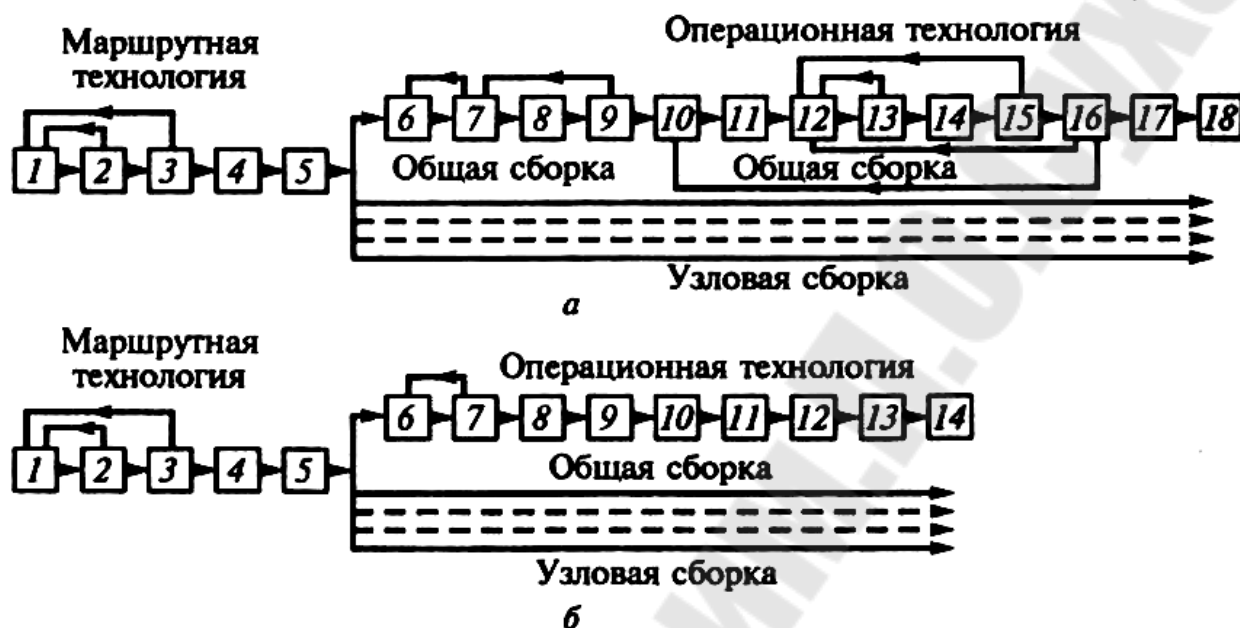


Рис. 7.1. Последовательность этапов проектирования технологии сборки для производства: а — поточно-массового; б — серийного;

1 — сбор исходных данных; 2 — анализ исходных данных; 3 — составление технологических схем; 4 — для поточно-массового — расчет темпа и определение типа производства, для серийного — определение размера партии; 5 — выбор организационных форм сборки; 6 — выбор баз; 7 — разработка маршрута и содержания операций; 8 — для поточно-массового — выбор типа оборудования, для серийного — выбор имеющегося оборудования; 9 — определение норм времени; 10 — уточнение содержания операций; 11 — выбор модели оборудования; 12 — определение режима сборки; 13 — уточнение норм времени; 14 — выбор оснастки и разработка технологических условий на ее изготовление; 15 — определение количества и загрузки оборудования; 16 — балансировка поточных линий; 17 — определение межоперационных заделов; 18 — оформление документации.

На основе рекомендаций по технологичности конструкции изделий определяют, необходимы ли конструктивные изменения, обеспечивающие автоматическую сборку. Если изменения внести невозможно, сборку данной части изделия (на данной операции) выполняют вручную или с использованием средств механизации. Анализ конструкции изделия и составляющих его деталей позволяет определить, какой вид сборки по степени автоматизации рациональнее применить.

### 3. Составление технологических схем автоматической сборки.

Анализ конструкции и изучение технических условий на изделие заканчиваются составлением технологических схем общей и узловой сборки изделия. Это первый этап разработки ТП. Технологические схемы сборки составляют на основе анализа

сборочных чертежей изделия. Они отражают маршрут сборки изделия и его составных частей. На этом этапе выявляют оптимальную степень расчленения изделия на составляющие элементы и выбирают возможные методы автоматической сборки различных соединений. Разрабатывают различные технологические варианты схем сборки, содержащие сведения о целесообразности дифференциации и концентрации операций, возможных вариантах схем базирования, относительной ориентации деталей и их закрепления. Рассчитывают условия собираемости деталей. Выбирают бункерные ориентирующие, транспортные, контрольные и другие устройства. На основе технико-экономического анализа выбирают наиболее рациональный вариант оборудования для сборки.

Последовательность сборки определяют на основе анализа размерных цепей изделия, каждая из которых предназначена для решения конкретной задачи. Определяя последовательность сборки, учитывают функциональную взаимосвязь элементов изделия, конструкцию базовых элементов, размеры и массу присоединяемых элементов, степень их взаимозаменяемости, а также то, что легко повреждаемые элементы желательно устанавливать в конце сборки.

Наглядное представление о технологичности изделия дают схемы сборки, предусматривающие выделение ступеней ТП. Можно также использовать форму схемы сборки, показывающей расположение собираемых элементов с указанием технологической последовательности сборки (рис.7.2).

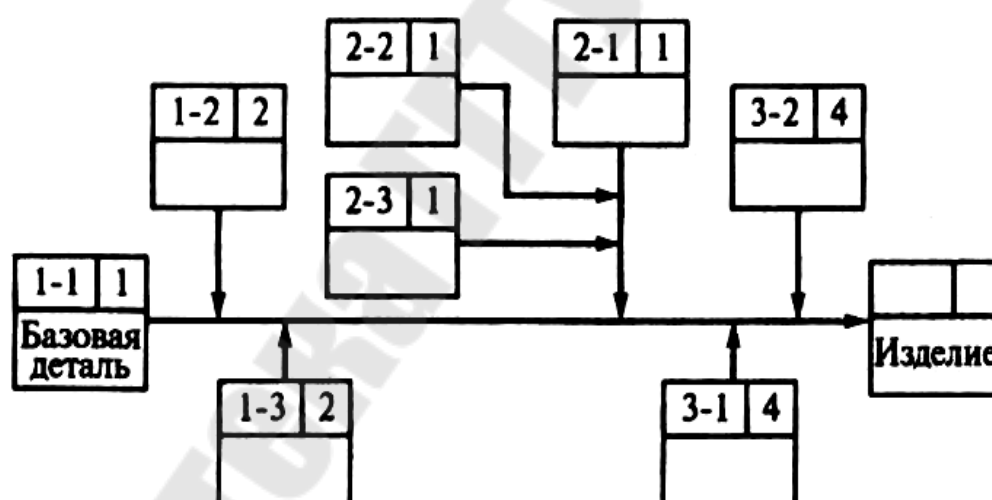


Рис. 7.2. Схема расположения сборочных элементов при соединении деталей.

За исходную принимают базовую деталь 1-1, к которой присоединяются по две детали 1-2 и 1-3. В результате этого образуется сборочная единица. К этой сборке присоединяется вторая сборочная единица, образованная из деталей 2-1, 2-2, 2-3 и т.д. Детали на схеме обозначены прямоугольниками, внутри которых дается индексация и в нижней части - наименование деталей. Сборочной единице присваивается порядковый номер сборочной единицы (узла)  $i = \overline{(1, n)}$ . Этим же номе-

ром отмечаются и отдельные детали, входящие в  $i$ -ю сборочную единицу. Изделие, собранное по данной схеме, имеет три ступени сборочных единиц. Однако подобные схемы не дают четкого представления о связях между отдельными элементами всего сборочного процесса и не позволяют выявить его рациональную структуру, связанную с выполняемыми работами.

Наибольшей информативностью обладают технологические схемы общей и узловой сборки, на которых указывают не только технологические, но и вспомогательные операции, обусловленные особенностями автоматической сборки — контроль, поворот или перевертывание собираемого объекта, смазывание и др. (рис.7.3).

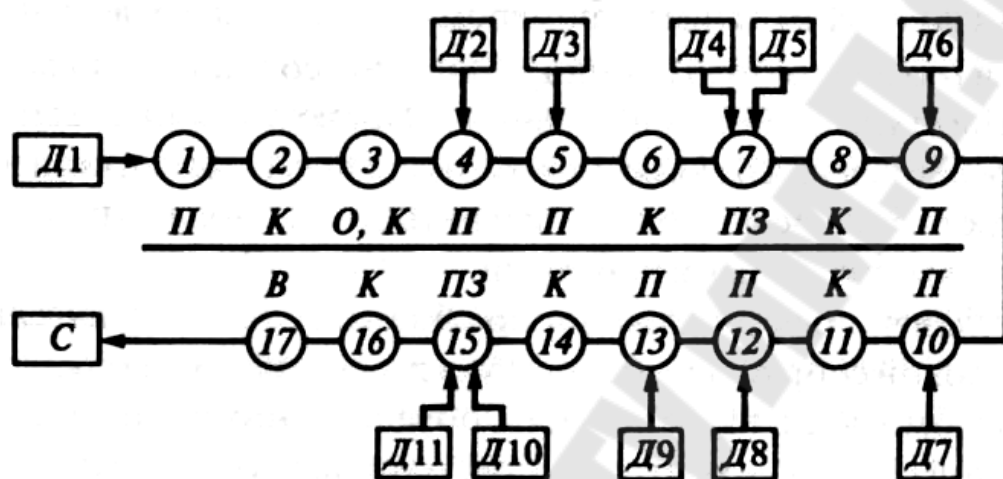


Рис. 7.3. Технологическая схема сборки: Д — деталь; П — подача и установка присоединяемой детали в приспособлении или на базовую деталь; К - контроль; О — обработка; З — закрепление; С — сборочная единица

Детали и сборочные единицы на схеме изображаются прямоугольниками с индексацией номеров (наименований), а операции — кружками с последовательной нумерацией.

При этом под операцией при многооперационной автоматической сборке понимают действия над собираемым объектом, выполняемые на определенной рабочей позиции автоматического оборудования. Позиции связаны между собой транспортной системой. На схемах следует обозначить участки ручной и механизированной сборки, на которых автоматизированная сборка затруднена или невозможна.

#### 4.Определение типа производства.

Типы производства в сборочном цехе определяют отдельно для изделия и его составных частей, так как они могут быть различными. При поточно-массовом производстве автоматическую сборку изделий выполняют на высокопроизводительных специальных автоматических линиях, в том числе переналаживаемых. При среднесерийном производстве сборку осуществляют партиями на автоматическом оборудовании. Используют также переменнo-поточные или групповые авто-

матические линии для конструктивно или технологически сходных изделий. Гибкие автоматические линии строят на базе гибких производственных модулей (ГПМ), автоматизированного транспортного оборудования и автоматизированных рабочих мест (АРМ) с управлением от центральной ЭВМ. Для ГАЛ характерны поточные методы организации сборки, высокие синхронизация операций и производительность. В мелкосерийном многономенклатурном производстве сборку выполняют на оборудовании с микропроцессорным управлением, обслуживаемым автоматизированной транспортной системой, которая вместе с ЭВМ образует гибкий автоматизированный участок сборки.

При поточном методе работы штучное время на операцию должно быть несколько меньше темпа сборки для создания резерва на случай задержек сборки иликратно темпу. Коэффициент загрузки оборудования должен быть высоким (не менее 0,95). На первых операциях поточной пинии его нужно брать меньше, чем на последних операциях сборки. Это обеспечивает большую надежность работы линии в случае отказов оборудования.

#### 5. Выбор организационной формы автоматической сборки.

Организационную форму сборки следует выбирать в зависимости от конструкции изделия, его размеров, массы, программы и срока выпуска. Организационную форму сборки устанавливают отдельно для изделия и его составных частей. В общем случае они могут быть разными. Вариант организационной формы автоматической сборки конкретного изделия выбирают на основе расчетов себестоимости сборки с учетом сроков подготовки и оснащения производства необходимым оборудованием.

В зависимости от организационных форм различают автоматическую сборку, стационарную и конвейерную. Стационарную сборку выполняют на специальном оборудовании или посредством ПР. Ее в основном используют в массовом и серийном производстве для сборки небольших узлов. Конвейерную сборку на автоматических линиях в большинстве случаев выполняют с периодической остановкой собираемого изделия. Сборка с непрерывным перемещением изделия осуществляется на конвейерах, оснащенных ПР, а также на роторных автоматических линиях.

#### 6. Выбор технологических баз, схем базирования изделия при узловой и общей автоматической сборке.

Ответственным этапом проектирования ТП автоматической сборки является выбор технологических баз и схем базирования, которые должны обеспечить заданную точность сборки, удобство ее выполнения, простоту конструкций приспособлений, оборудования и транспортных средств. При выборе технологических баз стремятся выдержать принципы совмещения, постоянства и последовательности смены баз. В каждом конкретном случае может быть использовано несколько схем базирования. При анализе схем рассчитывают погрешности установки. Если предусмотрена организованная смена баз, то пересчитывают соответствующие размеры и допуски на них, определяют допуски на параметры технологических баз. Для сокращения числа вариантов схем базирования следует применять типовые решения. Технологические базы выбирают с учетом обеспечения удобства установки и снятия собираемого изделия, надежности и удобства его закрепления, возможности



подвода с разных сторон присоединяемых деталей и сборочных инструментов. Различают базирование базовой детали изделия или отдельной его части при их установке в сборочное приспособление и базирование сопрягаемых деталей при узловой или общей сборке.

Используют стационарные позиционные приспособления или приспособления-спутники. В обоих случаях следует соблюдать принципы совмещения и постоянства баз. Соединение двух деталей при автоматической сборке должно обеспечить их 100 % - ную собираемость.

7. Разработка маршрутной технологии общей и узловой автоматической сборки.

Маршрутную технологию составляют на основе технологических схем сборки. Она включает в себя все технологические, контрольные и вспомогательные операции, выполняемые автоматически или вручную. Содержание операций устанавливают в зависимости от выбранного типа производства и темпа сборки. При построении маршрутной технологии нужно стремиться к одновременному выполнению (объединению) нескольких операций, что обеспечивает сокращение цикла сборки и потребности в производственных площадях. При массовом производстве содержание операции должно быть таким, чтобы ее длительность была несколько меньше темпа сборки или кратна ему.

При серийном производстве содержание операции принимают таким, чтобы узловая и общая сборка изделий обеспечивали высокую загрузку оборудования.

Для общей сборки

$$\left[ \left( \sum_{i=1}^n t_{шт_i} N_i \right) + \left( \sum_{i=1}^n T_{п.з_i} \right) k \right] m \leq \Phi \quad [7.1]$$

где  $n$  – число наименований изделий;  $t_{шт_i}$  – штучное время общей сборки  $i$ -го изделия;  $N_i$  – годовая программа выпуска  $i$ -го изделия;  $T_{п.з_i}$  – подготовительно-заключительное время для  $i$ -го изделия;  $k$  – число партий в год;  $m$  – число станков для общей сборки;  $\Phi$  – эффективный годовой фонд времени работы.

Техническая производительность оборудования

$$Q = 1 / (t_o + t_v + t_{ц}) \quad [7.2].$$

где:  $t_o$  – основное время;  $t_v$  – вспомогательное время.  $t_{ц}$  – внецикловые потери, учитывающие затраты времени на смену и подналадку инструмента, регулирование оборудования. Величину  $t_{ц}$  относят ко времени одного цикла.

В условиях автоматизации устанавливают норму времени на сборку единицы продукции и норму, заданную рабочему (бригаде рабочих) и выраженную в единицах продукции (численности рабочих).

При построении маршрутной технологии необходимо выделить операции с большой вероятностью отказов и предусмотреть на данном этапе производственные заделы. На основе маршрутной технологии разрабатывают техническое зада-

ние средств автоматизации. При разработке определяют тип технологического и транспортного оборудования, которое затем уточняют на последующих этапах проектирования технологии сборки.

#### 8. Построение операций автоматической сборки.

Этап построения операций сборки является наиболее трудоемким и сложным при проектировании технологии автоматической сборки. Он включает: уточнение содержания операций; повышение степени концентрации переходов; четкое разграничение всех составляющих элементов операции — от ориентации сопрягаемых деталей до удаления собираемой части изделия или его самого; технологические расчеты; определение сил запрессовки, затяжки резьбовых соединений, клепки и т. д.; определение штучного времени по элементам изделия и в целом.

На этом этапе определяют основную технологическую характеристику необходимого сборочного оборудования: структурную схему; кинематические и динамические параметры; размер рабочей зоны для размещения собираемого изделия с оснасткой; систему управления; степень автоматизации рабочего цикла; способность к переналадке. При отсутствии серийно выпускаемого оборудования разрабатывают техническое задание на его проектирование, при его наличии выбирают модель.

Разрабатывают техническое задание на конструирование специальных сборочных инструментов, сборочного приспособления с указанием принятых схем базирования, способов автоматической подачи и ориентации деталей и снятия готового изделия. Определяют методы необходимого контроля выполнения сборки, тип блокировочных устройств, предупреждающих аварийные ситуации и брак.

При проектировании операции сборки на многопозиционных станках и АЛ определяют загрузку оборудования по отдельным позициям, строят циклограммы работы, устанавливают структуру и тип линии, необходимые заделы и накопители, конфигурацию линии в плане для ее стыковки со сложными участками сборочного цеха. Составляют техническое задание на проектирование линии.

Нормы времени на сборочные операции определяют расчетно-аналитическим методом.

### 7.3. Типовые и групповые технологические процессы сборки.

Типовые ТП автоматической сборки базируются на классификации собираемых изделий, сборочных единиц и соединений по их конструктивным особенностям. Собираемые изделия и сборочные единицы классифицируют по общности их служебного назначения, видам соединений и по числу деталей, входящих в сборочную единицу. (например подшипники шариковые однорядные отличающиеся только габаритами)

Изделия или их составные части подразделяют на классы по общности технологических задач, возникающих при их сборке. Каждый класс изделий разделяют на подклассы, группы и подгруппы. При этом учитывают конструктивные признаки изделий, их размеры, обобщают решения технологических задач с целью нахождения общего подхода к проектированию технологии сборки отдельных изделий и их элементов. Определяют типовой представитель (один или несколько), которым является изделие (составная часть изделия), характеризующееся совокупно-

стью признаков. Данные изделия имеют одинаковый маршрут операций, выполняемых на однотипном сборочном оборудовании с использованием однородных приспособлений и инструментов

Затем разрабатывают общий ТП и устанавливают типовые последовательность и содержание операций, типовых схем базирования и конструкций оснастки. Если изделия унифицированы достаточно полно, то на них составляют одну общую технологическую карту с нормами времени.

Основой групповых ТП сборки является общность конструктивных особенностей изделий и технологии их сборки (например подшипники разных моделей, шариковые одно- двухрядные, роликовые и др. отличающиеся только габаритами)

Это дает возможность в условиях мелко- и среднесерийного производства выполнять ТП сборки, характерные для крупносерийного и массового производства, переходить от непоточного к поточному производству. Метод групповой технологии обладает большими возможностями унификации ТП, чем типовые ТП. При его использовании повышаются непрерывность, прямоточность и ритмичность производства.

В групповых поточных линиях оборудование располагают по маршруту сборки близких по конструкции и размерам изделий (или их частей) нескольких наименований. Все закрепленные за линией изделия собирают периодически партиями. В каждый момент времени линия работает как непрерывно-поточная. Переход к сборке другого изделия возможен без переналадки линии или с частичной, несложной переналадкой. Групповую технологию сборки следует использовать в пределах цеха или всего завода. Она должна охватывать весь комплекс выпускаемых изделий, что дает наибольший технико-экономический эффект.

Групповые ТП в основном разрабатывают для узловой сборки; для общей сборки их используют редко и только для простых по конструкции изделий.

Проектированию групповых ТП или операций сборки предшествует классификация изделия. При подборке изделий в группу проводят анализ чертежей и технических условий, технологичности. Проектирование выполняют в такой последовательности:

- 1) подбирают группу изделий, удовлетворяющих требованиям групповой сборки; намечают маршрут сборки, содержание операций; ориентировочно определяют оперативное время сборки;
- 2) уточняют содержание операций и разрабатывают наладки для наиболее сложных изделий группы, которые выпускают в наибольшем количестве; разрабатывают наладки для других изделий группы; определяют штучное время сборки;
- 3) определяют требования к сборочному оборудованию;
- 4) разрабатывают конструкции сборочных приспособлений и инструментальной оснастки; уточняют режимы и условия выполнения операций сборки; окончательно устанавливают нормы времени;
- 5) составляют технологическую документацию на каждое изделие;
- 6) определяют технико-экономические показатели групповой сборки.

#### **7.4. Особенности разработки технологических процессов автоматизированной и роботизированной сборки.**

Важным условием разработки рационального ТП автоматизированной сборки является унификация и нормализация соединений, т.е. приведение их к определенной номенклатуре видов и точностей. На основе унификации и нормализации соединений в сборочных единицах и изделиях разрабатывают типовые сборочные процессы (операции и переходы), выполняемые на типовом сборочном оборудовании с использованием типовых инструментов и приспособлений

В условиях крупносерийного и массового производства автоматизированная сборка изделий выполняется на сборочных автоматах и АЛ. В зависимости от сложности изделий используют одно- и многопозиционные сборочные автоматы. Последние применяют, например, при сборке подшипников качения. В линиях сборочные автоматы размещают линейно или по замкнутому контуру. Перемещение изделий осуществляется с помощью шаговых транспортеров или на приспособлениях-спутниках.

Основные этапы автоматизированной сборки:

- автоматическая ориентация деталей и основных частей изделия для использования автоматизированных транспортно-захватных устройств, контроль и очистка деталей;
- автоматическое выполнение соединений;
- транспортирование деталей и узлов;
- межоперационный контроль;
- окончательный контроль;
- упаковка.

Выполнение операций сборки должно проходить от простого к сложному: деталей — в подузлы, подузлы — в узлы, узлы — в агрегаты, узлы и агрегаты — в изделие, что учитывается при составлении схем сборки. В зависимости от сложности и габаритов изделий выбирают форму организации сборки: стационарную или конвейерную. Стационарная сборка возможна без перемещения изделия, с подводом сборочных узлов и деталей к базовой сборочной единице (детали, узлу и т. д.). Конвейерная сборка возможна, когда роботы обслуживают рабочие места с различной ориентировкой и погрешностью позиционирования деталей и узлов.

Главным отличием роботизированного производства является замена сборщиков сборочными роботами и выполнение контроля контрольными роботами или автоматическими контрольными устройствами.

Если в условиях АП сборку изделий можно выполнять методом полной или частичной взаимозаменяемости, с применением методов селективной сборки и использованием контрольно-сортировочных автоматов, а также с ограниченным применением методов пригонки и регулировки, то роботизированная сборка должна выполняться по принципу полной групповой взаимозаменяемости. При этом исключается возможность подгонки, регулировки. Строго должны быть соблюдены принципы выбора и постоянства баз, которые определяют качество собираемых изделий и надежность работы сборочных робототехнических комплексов (РТК).

В структуру роботизированного комплекса должны входить сборочное оборудование и приспособления, объединенные с транспортно-загрузочной системой и

системами управления различных уровней и расположенные в технологической последовательности, поэтому для определения структуры и состава РТК необходимы разработка и оптимизация общей и узловой сборки. В состав РТК входят сборочное оборудование и приспособления, транспортная система, операционные сборочные роботы, контрольные роботы, система управления.

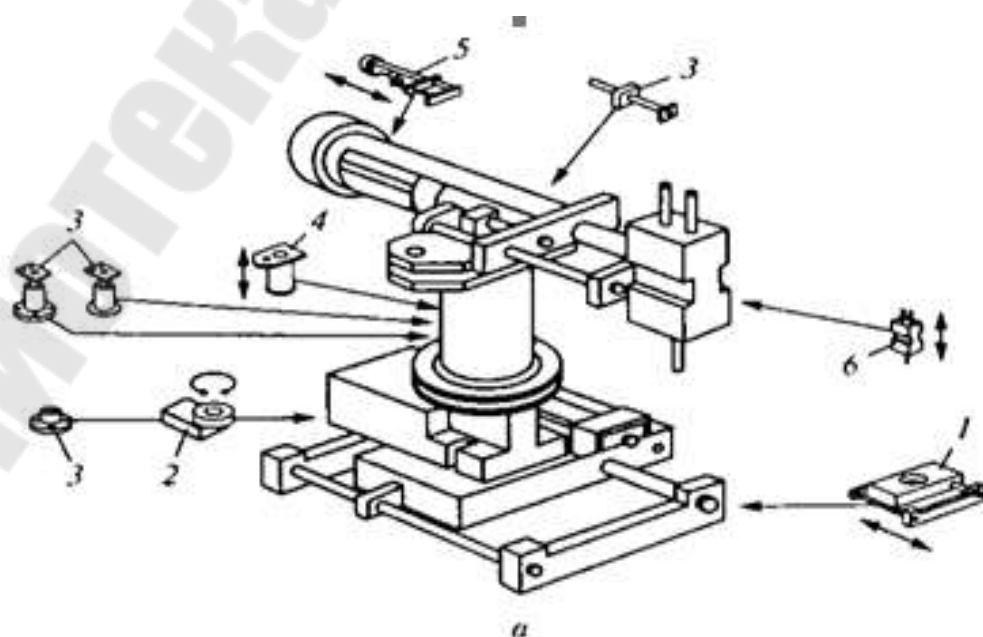
При разработке ТП сборки в РТК предпочтительна высокая концентрация операций, определяющая модели роботов, их функции, точность, оперативность, быстродействие. Особенно важно уточнить временные связи элементов РТК, так как и они могут определить операционные возможности, модели и количество сборочных промышленных роботов (ПР). С этой целью возможно и целесообразно построение циклограммы как отдельных роботизированных рабочих мест и ПР, так и РТК в целом.

На основе операционной технологии и циклограмм РТК может быть проведена подготовка управляющих программ для сборочных роботов с ЧПУ и для всего РТК.

Перспективным направлением роботизации сборки является использование ПР, построенных по блочно-модульному принципу, а также обучаемых ПР. В системы модулей ПР, как правило, включают модули линейных и угловых перемещений, комплекты переходных элементов для соединения модулей, сменные захватные устройства.

На рис. 7.3. приведены схемы системы модулей и компоновок роботов типа ПР 5-2 с различными степенями свободы. Унификация модулей позволяет (существенно увеличить число их модификаций, снизить затраты на автоматизацию сборочного производства.

Обучаемые роботы — это роботы, которые могут приспособляваются к различным случайным факторам, сопровождающим запрограммированную работу. Эта приспособляемость выражается в корректировке своей же программы на основе полученного «опыта» — результатов анализа и классификации возникающих отклонений и методов их устранения.



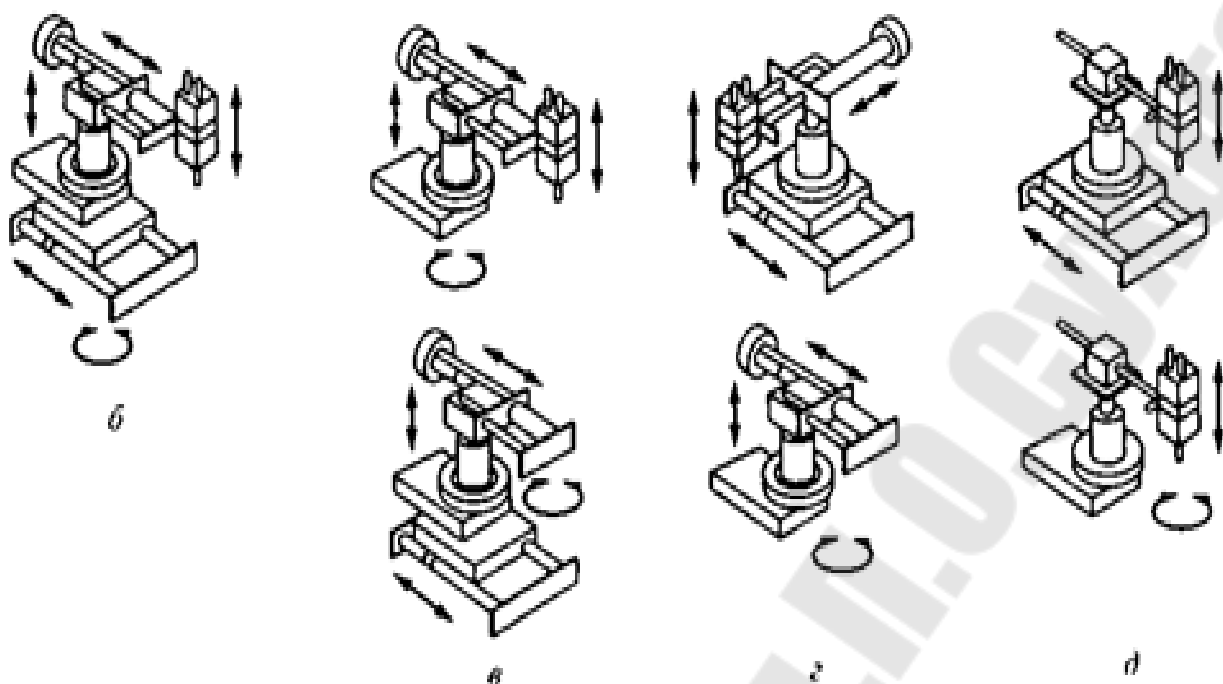


Рис. 7.3. Схемы системы модулей (а) и компоновок с пятью (б), четырьмя (в), тремя (г) и двумя (д) степенями подвижности роботов типа ПР5-2:

### 7.5. Роторные сборочные автоматы для автоматической сборки.

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.

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. На рис.7.3 дана схема работы сборочного автомата роторного типа. Собираемые изделия передаются с одного сборочного ротора на другой специальными транспортными (питающими и снимающими) роторами. Подача деталей к питающим роторам производится из бункерных или магазинных загрузочных устройств. На автоматических роторных сборочных установках или линиях можно производить запрессовку, развальцовку, обжимку и другие сборочные операции, а также контролировать узлы по заданным размерам.

При сборке узлов из нескольких деталей сборочные роторные автоматы имеют два, три и более питающих роторов, расположенных последовательно против соответствующих позиций. Роторные автоматы могут иметь автоматические измерительные устройства для контроля правильного положения собираемых деталей.

На автоматических сборочных линиях нет заделов между сборочными агрегатами, так как сборочные механизмы и инструменты не требуют частой смены и

подналадки. Наладочные и подналадочные работы на автоматической линии сборки на всех агрегатах производятся между сменами.

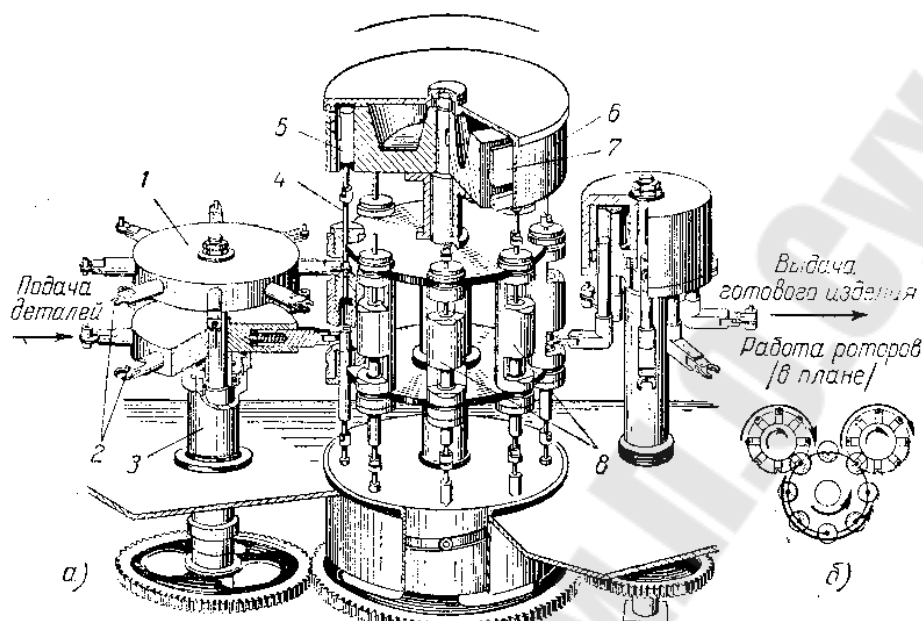


Рис.7.3. Типовой ротор для сборки двух элементов и обслуживающие его транспортные роторы.

На рисунке представлена: а) — конструкция ротора; б) — схема работы роторов в плане. (1 — диски; 2 — клещевые несущие органы; 3 — стакан; 4 — рабочий инструмент-пуансон; 5 — ползун; 6 — барабан; 7 — неподвижный пазовый копир; 8 — блоки рабочего инструмента)

Применяются две системы управления сборочными полуавтоматами, автоматами и автоматическими сборочными линиями: централизованные и децентрализованные.

Любая система управления должна обеспечивать:

- 1) работу автомата или сборочной линии в заданном ритме;
- 2) синхронную работу всех узлов автомата или всего оборудования сборочной линии;
- 3) блокировку узлов автомата или линии для предотвращения брака или поломки;
- 4) контроль качества собираемых узлов.

В централизованных системах управления применяются командоаппараты с непрерывно или периодически вращающимся распределительным валом с кулачками, которые управляют работой технологических и вспомогательных органов непосредственно или через промежуточные связи. Системы управления разрабатывают на основании циклограммы работы автомата или сборочной автоматической линии.

Децентрализованные системы управления применяют для управления работой весьма сложных сборочных автоматов и автоматических линий. Эти системы до-

пускают включение любого исполнительного органа после получения сигнала об окончании работы предыдущего органа. В децентрализованных системах управления подача сигналов производится в функции пути путевыми переключателями - или в функции времени реле времени.

Наиболее совершенной формой поточной автоматической сборки является комплексная автоматическая сборка. В этом случае автоматическое оборудование выполняет все сборочные операции и все виды контроля собираемых узлов, очищает и заправляет собранные узлы смазкой, а также производит различные операции механической обработки. При контроле проверяют размеры сопряжения, получаемых при сборке, зазоры и взаимное положение деталей в собранном узле. Собранные узлы проверяют на герметичность в процессе гидравлического или пневматического испытания. Проверяют различные технические требования, предъявляемые к узлам, в зависимости от их назначения.

Перемещение собираемых узлов транспортными устройствами на автоматической сборочной линии должно соответствовать заданному темпу сборки.

В зависимости от конструкции собираемых узлов или изделий в состав сборочной автоматической линии могут входить следующие устройства: бункерные или штабельные загрузочные устройства — питатели, транспортные устройства, приспособления для установки и зажима собираемых узлов, делительные и фиксирующие устройства, контрольно-измерительные устройства, устройства для выполнения различных сборочных соединений и т. д. Если автоматическая сборка изделий или узлов производится на основе взаимозаменяемости, то общая конструктивная схема автоматической сборочной линии получается относительно простой. При автоматической сборке изделий или узлов, осуществляемой на основе селективной сборки, конструктивная схема автоматической сборочной линии усложняется введением устройств для автоматической сортировки деталей и запоминающих устройств. При этой сборке число бункеров в линии зависит от количества деталей в узле или изделии, а также количества групп, на которые разделяются сопрягаемые детали.

Большое внимание следует уделять контролю установки деталей и подузлов в начальном и конечном положениях.

В автоматические сборочные линии следует встраивать устройства, прекращающие работу линии в случаях отсутствия детали или неправильного положения ее на одной из позиций сборки.

В качестве таких устройств применяют упоры с электроконтактными или пневматическими датчиками для крупных деталей и фотоэлементы для мелких деталей. Если на одной из позиций сборочной линии обнаружено неправильное положение детали или отсутствие ее, то автоматическая сборочная линия с централизованной системой управления останавливается в результате срабатывания блокировочного устройства. На автоматической сборочной линии с децентрализованной системой управления при обнаружении бракованных деталей на одной из позиций линии последняя останавливается, бракованный узел перемещается транспортным устройством на следующие позиции линии, но исполнительные органы на последующих операциях, не получая соответствующего сигнала с предыдущей операции, не производят работу по сборке. Следовательно, собираемый узел, получив



дефект на какой-либо сборочной операции, проходит все последующие операции поточной линии,, но сборочные работы на этом узле не производят и в конце линии дефектный узел идет в брак.

### **7.6. Автоматизация подачи деталей на сборку**

При выполнении работ по автоматизации сборочных процессов в первую очередь приходится решать вопросы подачи деталей, из которых производится сборка узлов или изделий. Детали из автоматических загрузочных устройств на сборочную позицию подают поштучно. Загрузочные устройства автоматов или автоматических линий подают на сборку окончательно обработанные детали, которые легче ориентировать, чем детали необработанные.

Мелкие детали простой формы в бункер загружаются навалом. Из бункера через промежуточные звенья детали подаются на сборку в ориентированном виде. Более сложные по форме детали и узлы средних и крупных размеров загружают в магазинные устройства партиями в заданном (ориентированном) положении. Применяемые типы бункерных, магазинных и штабельных загрузочных устройств для подачи штучных деталей на позиции сборочных автоматов по конструкции не отличаются от подобных загрузочных устройств для питания штучными деталями металлорежущих станков.

В настоящее время для питания деталями сборочных автоматов получили значительное применение вибрационные бункеры. В вибробункере детали непрерывно перемещаются вверх по наклонному спиральному лотку, закрепленному внутри корпуса вибробункера. Скорость перемещения деталей по спиральному лотку вибробункера регулируется в значительных пределах изменением амплитуды колебаний корпуса его посредством реостата, а в некоторых конструкциях бункеров и частоты. Детали из бункера могут подаваться в один или несколько ручьев. Такие бункеры имеют простую конструкцию и надежно работают. Конструкции других типов бункеров подают детали на позиции сборочного автомата принудительным способом с помощью захватноориентирующих устройств. При такой системе питания при переполнении лотков и накопителей деталями, подаваемыми на сборку, возможно заклинивание бункера. Во избежание поломки бункера в нем имеются предохранительные устройства. Обычно питающий бункер соединяется с накопителем-лотком.

Конструкция магазинных устройств для питания деталями сборочных автоматов в основном не отличается от устройств для питания штучными деталями металлорежущих станков-автоматов. Перемещение деталей среднего веса в магазинном устройстве происходит под действием силы тяжести, а более легких деталей — грузом, пружиной и т. д. Загрузка деталей в магазинное устройство производится рабочим периодически через определенное время.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капустин, Н.М. и др. «Автоматизация производственных процессов в машиностроении»; под ред. Н.М.Капустина. – Москва: Высшая школа, 2007г.
2. Капустин, Н.М. и др. «Комплексная автоматизация в машиностроении»; под ред. Н.М.Капустина. – Москва: АСАДЕМА, 2005г.
5. Кошкин, Л.Н. «Роторные и роторно-конвейерные линии». – Москва: Машиностроение, 1983.
3. Рогов, В.А, А.Д.Чудаков. «Средства автоматизации производственных систем машиностроения» – Москва: Высшая школа, 2005г.
4. Фрике, Ф. «Гибкие производственные системы на практике». Материалы симпозиума, Ф.Фрике, М.Герке, Х.Хаммер, Ю.Шустер, Б.Фивегер. – Берлин, 1988г

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных сокращений.....	3
1. ВВЕДЕНИЕ.....	5
2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ	
2.1. Особенности и этапы развития комплексной автоматизации.....	7
2.2. Роль гибкости (переналаживаемости) производства.....	8
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ – ОСНОВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ	
3.1. Особенности проектирования технологических процессов в условиях автоматизированного производства... ..	9
3.2. Основные принципы построения технологии механической обработки в автоматизированных производственных системах АПС).....	10
3.3. Типовые и групповые технологические процессы.....	11
3.3.1. Классификация деталей.....	12
3.4. Технологичность конструкций изделий для условий автоматизированного производства.....	14
3.5. Типизация технологических процессов и метод группового изготовления деталей.....	14
3.6. Основные требования к технологии и организации механической обработки в переналаживаемых автоматизированных производственных системах.....	16
3.7. Направления развития современного машиностроительного производства.....	16
4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ	
4.1. Виды внецикловых потерь.....	18
4.2. Методы расчета и оценки производительности автоматизированных систем	21
5. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ ГПС И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	
5.1. Классификация ГПС по структурно-организационным уровням управления.....	23
5.2. Гибкие производственные ячейки (ГПЯ). Особенности компоновки.....	25
5.3. Области использования ГПЯ.....	27
5.4. Гибкие производственные острова (ГПО). Особенности компоновки.....	28
5.5. Области использования ГПО.....	35
5.6. Связанные гибкие производственные системы. Особенности компоновки.....	35
5.7. Области использования ГПС.....	38
6. ВЫБОР МОДУЛЬНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ И ПОДСИСТЕМ ГПС	
6.1. Важнейшие функциональные компоненты ГПС.....	39

6.2. Общие требования при выборе основного технологического оборудования и промышленных роботов в гибком автоматизированном производстве (ГАП).....	40
6.3. Выбор основного технологического оборудования ГПС.....	43
6.4. Гибкие производственные модули (ГПМ) для обработки корпусных деталей.....	44
6.4.1. Основные технические характеристики ГПМ.....	44
6.4.2. Важнейшие технические характеристики модуля.....	46
6.4.3. Специфические особенности ГПМ, как основных компонентов ГПС.....	47
6.4.4. Основные требования к конструкции ГПМ.....	54
6.5. Гибкие производственные модули (ГПМ) для обработки деталей типа тел вращения.....	54
6.6. Подсистема транспортирования и складирования заготовок и готовых изделий.....	60
6.6.1. Автоматизация загрузки, транспортирования и складирования изделий в условиях автоматизированного производства.....	60
6.6.2. Загрузочные устройства автоматизированных систем.....	60
6.6.3. Выбор промышленных роботов для обслуживания технологического оборудования.....	62
6.6.4. Методика построения циклограмм функционирования робототехнического комплекса (РТК).....	63
6.6.5. Выбор транспортно-складских систем для автоматизированных производств.....	67
6.6.6. Транспортные средства снабжения заготовками и изделиями в ГПС для обработки крупных корпусных деталей.....	70
6.7. Подсистема снабжения инструментами.....	75
6.7.1. Снабжение инструментом вручную на обрабатывающих центрах.....	76
6.7.2. Способы управления инструментом на базе ЭВМ.....	77
6.7.3. Снабжение инструментами посредством, управляемого от ЭВМ робота.....	79
6.7.4. Управление инструментами с помощью инструментальных касет.....	81
6.8. Подсистема интегрированного контроля за качеством продукции в ГПС.....	89
6.8.1. Интегрированный контроль за качеством инструментов.....	90
6.8.2. Интегрированный контроль за качеством процесса механической обработки.....	92
6.8.3. Система диагностики состояния ГПС.....	95
6.9. Выбор инструмента и технологической оснастки в автоматизированном производстве.....	95
6.9.1. Особенности конструкций инструмента и приспособлений в автоматизированном производстве.....	95
6.9.2. Инструментальная оснастка ГПС.....	95

6.9.3. Размерная настройка инструмента.....	100
6.9.4. Применение приспособлений в условиях автоматизированного производства.....	101
<b>7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ</b>	
7.1. Определение структуры и основных характеристик производственного процесса.....	102
7.2. Последовательность проектирования технологического процесса автоматической сборки.....	103
7.3. Типовые и групповые технологические процессы сборки.....	110
7.4. Особенности разработки технологических процессов автоматизированной и роботизированной сборки.....	112
7.5. Роторные сборочные автоматы для автоматической сборки.....	114
7.6 Автоматизация подачи деталей на сборку.....	117